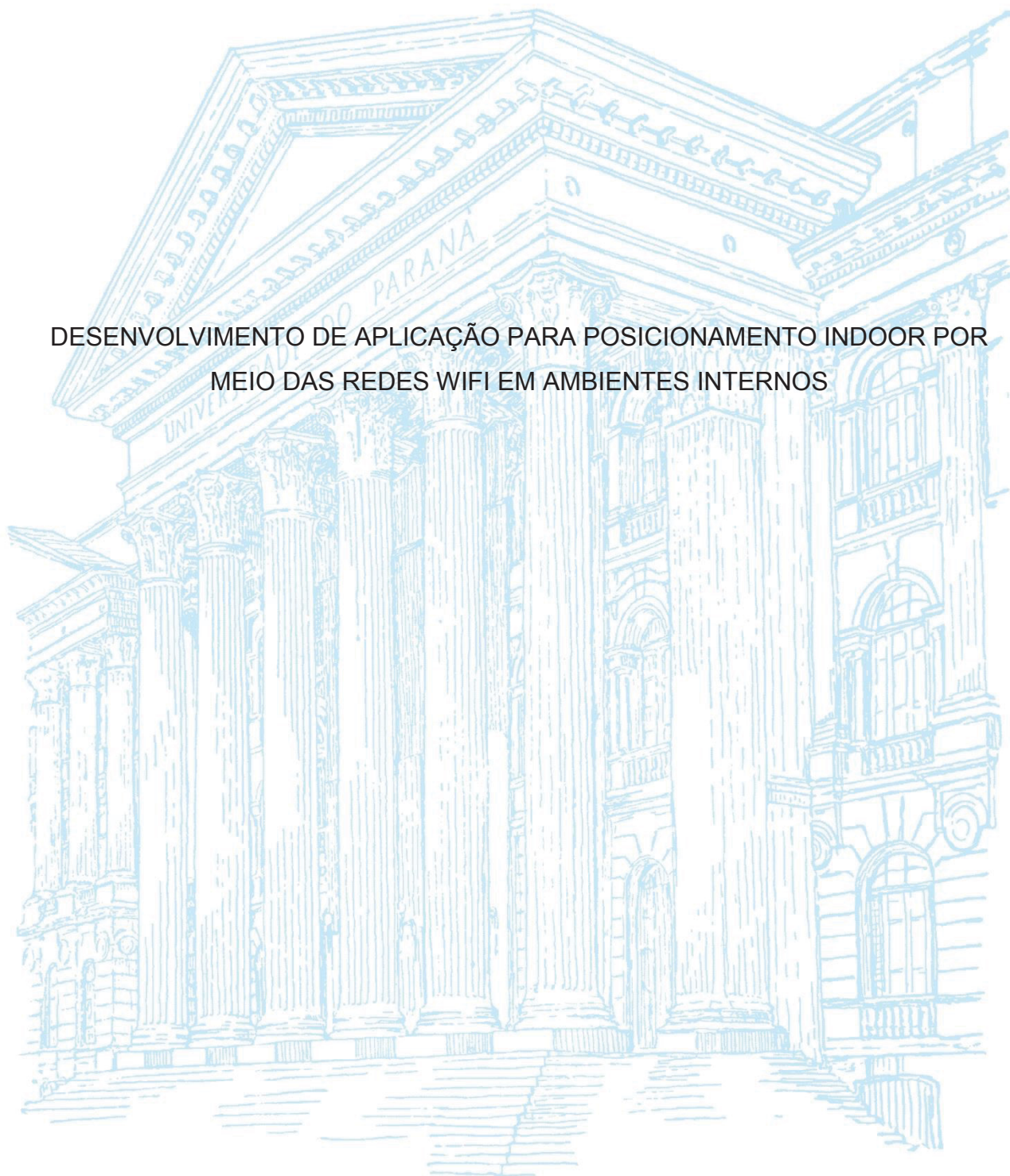


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINA ANDREA AGUILAR ARAVENA

DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO PARA POSICIONAMENTO INDOOR POR
MEIO DAS REDES WIFI EM AMBIENTES INTERNOS



CURITIBA

2018

CAROLINA ANDREA AGUILAR ARAVENA

**DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO PARA POSICIONAMENTO INDOOR POR
MEIO DAS REDES WIFI EM AMBIENTES INTERNOS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Área de Concentração em Cartografia, Departamento de Geomática, Setor Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Geodésicas.

Orientadora: Dra. Luciene Stamato Delazari.

CURITIBA

2018

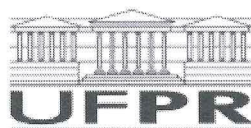
A283d Aguilar Aravena, Carolina Andrea

Desenvolvimento de aplicação para posicionamento indoor por meio das redes *Wifi* em ambientes internos [recurso eletrônico] / Carolina Andrea Aguilar Aravena, 2019.

Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Área de Concentração em Cartografia, Departamento de Geomática, Setor Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná
Orientadora: Dra. Luciene Stamato Delazari.

I. Geodésia. I. Universidade Federal do Paraná. II. Delazari, Luciene Stamato. III. Título.

CDD 526.72



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS
GEODÉSICAS - 40001016002P6

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS GEODÉSICAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CAROLINA ANDREA AGUILAR ARAVENA** intitulada: **DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO PARA POSICIONAMENTO INDOOR POR MEIO DAS REDES WIFI EM AMBIENTES INTERNOS**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 08 de Fevereiro de 2019.


LUCIENE STAMATO DELAZARI

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)



DIULIANA LEANDRO

Avaliador Externo (UFPEL)



SILVANA PHILIPPI CAMBOIM

Avaliador Interno (UFPR)


LEONARDO ERCOLIN FILHO

Avaliador Externo (UFPR)

*A Felipe, meus pais Maria Elena e Enrique,
e meu tio Patrício, por sempre acreditar em mim.*

AGRADECIMENTOS

A Felipe por sempre estar presente em cada momento difícil nestes dois últimos anos, pelo amor e companhia nestes oito anos de caminho juntos. A meus pais pelo amor, carinho em minha vida toda, por acreditar sempre em mim, pelo apoio constante e por ensinar-me que sempre devo me aperfeiçoar. A meu tio Patrício pelo apoio e amor sempre. A mãe do Felipe pelo apoio e amizade. Aos meus sobrinhos, irmãos, cunhada, avós, tios, família de coração e a família do Felipe, pelo apoio.

A minha orientadora Profa. Dra. Luciene Stamato Delazari, pelo apoio, pela ajuda, confiança e paciência durante a realização desta pesquisa.

Aos membros da banca examinadora, Profa. Dra. Silvana Philippi Camboim (UFPR), Profa. Dra. Diuliana Leandro (UFPEL) e Prof. Dr. Leonardo Ercolin Filho (UFPR), pelas avaliações e sugestões neste trabalho.

Ao programa de bolsas da *Organization of American States* (OEA) e o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB), pelo auxílio financeiro.

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes, sem importar a distância, Israel, Álvaro, Camila, Julieta, Manuel, Romina, Luís Javier, Lucianita, Michelle, Pedro, Valentina, Cristobal, Nataly, Yazna, Oscar e Eleazar.

As maravilhosas pessoas que conheci nestes dois anos, David, Leone, Andreina, Daniel, Caisse, Rhaíssa, Fabiane Oshikawa, Mario, Andreas, Raquel, Leandro e Marinalva. Especialmente a Andrea pela amizade, carinho e apoio constante.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodesias, aos professores da Universidade, especialmente ao Prof. Wander da Cruz e o Prof. Luis Koeing Veiga e a melhor secretaria Mônica. Aos integrantes e ex-integrantes do programa: Henry, Niedja, Idalecio, Tulio, Marciano, Livia, José, Lucy, Suzana, Jorge, Samir, Ilich e Christian.

À Profa. Monica Allende e o Prof. Dr. José Luís Borcosque pela carta de recomendação para a postulação no programa, e ao Prof. Ariel Silva, pela ajuda na postulação.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente ajudaram na realização desta pesquisa.

RESUMO

No ambiente interno a navegação de um usuário é baseada em seu conhecimento do local ou com base em pontos de referências que encontram-se no ambiente, isto pode ser assistido por sistemas que forneçam a posição do usuário. Neste tipo de ambiente, deve-se usar um Sistema de Posicionamento Interno (IPS), sendo que os IPS mais usados são os que utilizam a tecnologia WIFI, já que encontra-se implantada na maioria dos prédios e dispositivos móveis atuais, tem um padrão de transmissão e infraestrutura estabelecida. Nesta pesquisa foi desenvolvida uma solução de código aberto para um IPS com a tecnologia WIFI em um dispositivo móvel com sistema operacional *android*, no contexto de aplicação UFPR CampusMap, que corresponde a um sistema desenvolvido pelo grupo de pesquisa de Cartografia e SIG da Universidade Federal do Paraná (UFPR), que tem por objetivo mapear os ambientes externos e internos dos diferentes campus da UFPR, o sistema atual corresponde a uma aplicação web e não tem disponível a funcionalidade do posicionamento. Para gerar a solução, foram feitos estudos com respeito ao *Received Signal Strength Indicator (RSSI)*, e como este varia com respeito à distância, concluindo que este diminui com o aumento da distância, e devido aos fatores que o interferem deve ser modelado, para melhorar a qualidade do posicionamento obtido com base no RSSI. Além disso, foi avaliado o posicionamento no modo estático e cinemático para as técnicas do centróide, centróide ponderado e da trilateração, obtendo como acurácias médias 10,43; 7,39 e 8,38 metros respectivamente, com isso foi escolhida a técnica do centróide ponderado como a técnica para ser empregada na solução. Finalmente, foi avaliada a solução enquanto a detecção do prédio, andar e sala, concluindo que o aplicativo poderia ser utilizado para auxiliar ao usuário na sua localização, já que tem uma certeza de 100% na detecção do prédio e 79% do andar. Os resultados apontam à viabilidade de desenvolvimento e a possibilidade de gerar interfaces gráficas para dados geográficos em dispositivos móveis, que permitam uma melhor representação e interação entre o usuário e o ambiente interno.

Palavras-chave: Posicionamento interno. Redes WIFI. Código aberto. *Android*.

ABSTRACT

In the indoor environment, a user's navigation is based on knowledge of the place or based on reference points found in the environment, this can be assisted by systems that provide the user's position. In this type of environment, one should use an Indoor Positioning System (IPS), the most used IPS are those that use WIFI technology, since it is implanted in most of the buildings and current mobile devices, it has a transmission pattern and established infrastructure. In this research was developed an open source solution for an IPS with this technology in a smartphone with android operating system, in the context of the UFPR Campus Map application, which corresponds to a system developed by the Cartography and GIS research group of the Federal University of Paraná (UFPR), which aims to map the indoor and outdoor environments of the different UFPR campus, the system corresponds to a web application and has no positioning functionality available. In order to generate the solution, studies were conducted regarding the Received Signal Strength Indicator (RSSI), how it varies with respect to distance, concluding that it decreases with increasing distance, and because of the factors that interfere in it must be modeled, to improve the quality of the positioning obtained from RSSI. In addition, the positioning in the static and kinematic mode was evaluated for the centroid, weighted centroid and trilateration techniques, obtaining as accuracy 10.43; 7.39 and 8.38 meters respectively, with this chose the weighted centroid technique as the technique to be employed in the solution. Finally, the solution was evaluated in detecting the building, floor and room, concluding that the application could be used to assist the user in its location, since it has a certainty of 100% in the detection of the building and 79% of the floor. The results point to the feasibility of development and the possibility of generating graphical interfaces for geographic data in mobile devices, allowing a better representation and interaction between the user and the indoor environment.

Key-words: Indoor positioning. WIFI networks. Open source code. Android.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- LAYOUT CONCEITUAL DA INFRA-ESTRUTURA DE UM IPS.....	24
FIGURA 2	- TIME OF ARRIVAL (ToA).....	26
FIGURA 3	- ANGLE OF ARRIVAL (AoA).....	29
FIGURA 4	- ESTIMATIVA DA POSIÇÃO PELO MÉTODO DO CENTRÓIDE PONDERADO.....	31
FIGURA 5	- ESTIMATIVA DA POSIÇÃO PELO MÉTODO DE TRILATERAÇÃO	32
FIGURA 6	- ESTIMATIVA DA POSIÇÃO PELO MÉTODO DE TRIANGULAÇÃO.....	33
FIGURA 7	- MODELO PARA UM SISTEMA DE CÓDIGOS QR.....	35
FIGURA 8	- POSICIONAMENTO COM BLUETOOTH.....	39
FIGURA 9	- TECNOLOGIAS DE POSICIONAMENTO BASEADA NO WIFI	42
FIGURA 10	- MULTI-TRILATERAÇÃO	43
FIGURA 11	- INTENSIDADE DO RSSI.....	45
FIGURA 12	- VARIAÇÕES DO RSSI DE UM AP AO LONGO DO TEMPO..	47
FIGURA 13	- APLICATIVO INFISOFT	49
FIGURA 14	- APLICATIVO EKAHAU	50
FIGURA 15	- APLICATIVO REDPIN	51
FIGURA 16	- APLICATIVO HERE WE GO	52
FIGURA 17	- APLICATIVO PROXIMI.IO.....	53
FIGURA 18	- APLICATIVO WIFARER	54
FIGURA 19	- DIAGRAMA DE CASO DE USO.....	61
FIGURA 20	- FLUXOGRAMA DO APLICATIVO	62
FIGURA 21	- ARQUITETURA DO APLICATIVO.....	63
FIGURA 22	- ETAPAS DA PESQUISA	64
FIGURA 23	- AREA DE ESTUDO	65
FIGURA 24	- BLOCO VI, ANDAR TÉRREO	66
FIGURA 25	- DIFERENTES CORREDORES DO BLOCO VI	66
FIGURA 26	- ROTEADOR “50:BB:C0:F9:58:FF”	68
FIGURA 27	- APLICATIVO WIIFIANALYZER	69

FIGURA 28 - COBERTURA DA REDE WIFI	70
FIGURA 29 - PRIMEIRA ROTINA.....	72
FIGURA 30 - <i>DISPLAY</i> DADOS RSSI	73
FIGURA 31 - ROTINA CÁLCULO DE DISTÂNCIA	74
FIGURA 32 - ROTINA <i>DISPLAY</i> DISTÂNCIA	75
FIGURA 33 - ROTINA <i>DISPLAY</i> ROTEADORES PRÓXIMOS.....	76
FIGURA 34 - ROTINA CÁLCULO DA POSIÇÃO	83
FIGURA 35 - ROTINA <i>DISPLAY</i> POSIÇÃO	83
FIGURA 36 - PONTOS MATERIALIZADOS PARA TESTES.....	84
FIGURA 37 - SUPORTE PARA O SMARTPHONE.....	85
FIGURA 38 - DISTÂNCIA INCLINADA	85
FIGURA 39 - INTERFACE DE MAPBOX STUDIO.....	88
FIGURA 40 - ROTINA POSIÇÃO NO MAPA	89
FIGURA 41 - ROTINA ROTEADORES ARMAZENADOS.....	90
FIGURA 42 - ROTINA MAPA ROTEADORES ARMAZENADOS	90
FIGURA 43 - PONTOS TESTE 1	93
FIGURA 44 - POSICIONAMENTO PELO MÉTODO ESTÁTICO COM A TÉCNICA DO CENTRÓIDE.....	102
FIGURA 45 - POSICIONAMENTO PELO MÉTODO ESTÁTICO COM A TÉCNICA DO CENTRÓIDE PONDERADO.....	104
FIGURA 46 - POSICIONAMENTO PELO MÉTODO ESTÁTICO COM A TÉCNICA DE TRILATERAÇÃO.....	105
FIGURA 47 - TRAJETÓRIA OBTIDA COM A TÉCNICA DO CENTRÓIDE	108
FIGURA 48 - TRAJETÓRIA OBTIDA COM A TÉCNICA DO CENTRÓIDE PONDERADO.....	108
FIGURA 49 - TRAJETÓRIA OBTIDA COM A TÉCNICA DA TRILATERAÇÃO.....	109
FIGURA 50 - TESTE DETECÇÃO PRÉDIO, ANDAR E SALA.....	110
FIGURA 51 - TESTE DETECÇÃO PRÉDIO, ANDAR E SALA.....	111
FIGURA 52 - TESTE DETECÇÃO PRÉDIO, ANDAR E SALA.....	112
FIGURA 53 - TESTE DETECÇÃO PRÉDIO, ANDAR E SALA.....	113

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	- PERDA DO SINAL DE ACORDO COM O MATERIAL	46
TABELA 2	- COMPARATIVO DE IPS BASEADOS EM WIFI.....	54
TABELA 3	- PESQUISAS FEITAS EM POSICIONAMENTO PELA TECNOLOGIA WIFI	59
TABELA 4	- MATERIAIS	67
TABELA 5	- DADOS ROTEADORES REDE UFPR SEM FIO	77
TABELA 6	- COORDENADAS DOS PONTOS DOS TESTES	86
TABELA 7	- RESULTADOS TESTE 1.....	94
TABELA 8	- DISCREPÂNCIAS MÉDIAS DISTÂNCIA	95
TABELA 9	- MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DISCREPÂNCIAS PARA AS DUAS DISTÂNCIAS.....	101
TABELA 10	- DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS COM A TÉCNICA CENTRÓIDE.....	103
TABELA 11	- DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS POR TÉCNICA CENTRÓIDE PONDERADO	104
TABELA 12	- DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS POR TÉCNICA TRILATERAÇÃO SEGUNDO MÉTODO	105
TABELA 13	- DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS POR TÉCNICA CENTRÓIDE PONDERADO	106
TABELA 14	- RESULTADOS TESTE 5.....	114
TABELA 15	- ANÁLISE TESTE 5.....	114
TABELA 16	- PESQUISAS FEITAS EM POSICIONAMENTO PELA TECNOLOGIA WIFI	115

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	-	VARIAÇÃO DO RSSI DE ACORDO COM A DISTÂNCIA ..	95
GRÁFICO 2	-	DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA EMBAIXO DO ROTEADOR	96
GRÁFICO 3	-	DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 1 METRO NO PLANO HORIZONTAL.....	96
GRÁFICO 4	-	DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 3 METROS NO PLANO HORIZONTAL.....	97
GRÁFICO 5	-	DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 5 METROS NO PLANO HORIZONTAL.....	98
GRÁFICO 6	-	DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 7 METROS NO PLANO HORIZONTAL.....	98
GRÁFICO 7	-	DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 9 METROS NO PLANO HORIZONTAL.....	98
GRÁFICO 8	-	DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 11 METROS NO PLANO HORIZONTAL.....	99
GRÁFICO 9	-	DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 13 METROS NO PLANO HORIZONTAL.....	100
GRÁFICO 10	-	DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 15 METROS NO PLANO HORIZONTAL.....	100
GRÁFICO 11	-	DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 17 METROS NO PLANO HORIZONTAL.....	101
GRÁFICO 12	-	DISCREPÂNCIAS PARA AS TRÊS TÉCNICAS.....	106

LISTA DE SIGLAS

2D	-	Bidimensional ou duas dimensões
3D	-	Tridimensional ou três dimensões
3G	-	Terceira geração
4G	-	Quarta geração
AoA	-	Ângulo de chegada / <i>Angle of arrival</i>
AP	-	Ponto de acesso / <i>Access Point</i>
AGPS	-	<i>Assisted Global Positioning System</i>
BIDI	-	Código Bidimensional
BSSID	-	<i>Basic Service Set Identifier</i>
DOP	-	<i>Dilution of precision</i>
GNSS	-	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GSM	-	<i>Global System for Mobile Communications</i>
IPS	-	Sistema de Posicionamento Interno/ <i>Indoor Positioning System</i>
IR	-	Infravermelho
JSON	-	<i>Javascript Object Notation</i>
KNN	-	<i>K-Nearest-Neighbor</i>
LBS	-	Serviços Baseados na Localização / <i>Location Based System</i>
MEMS	-	<i>Micro Electro-Mechanical System</i>
QR	-	<i>Quick Response</i>
RFID	-	Identificação por radiofrequência / <i>Radio Frequency Identification</i>
RSS	-	<i>Received Signal Strength</i>
RSSI	-	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
SMP	-	<i>Smallest M-vertex Polygon</i>
SSID	-	<i>Service Set Identifier</i>
SVM	-	<i>Support Vector Machine</i>
TDoA	-	Tempo de diferença de chegada / <i>Time Difference of Arrival</i>
ToA	-	Tempo de chegada / <i>Time of Arrival</i>
ToF	-	Tempo de voo / <i>Time of Flight</i>
TSARS	-	Tecnologia de Posicionamento Baseado no Sinal Recebido
UCM	-	UFPR CampusMap

UFPR	-	Universidade Federal do Paraná
URL	-	<i>Uniform Resource Locator</i>
US	-	Ultrassom
UWB	-	Ultra-wideband
WIFI	-	<i>Wireless Fidelity</i>
WLAN	-	<i>Wireless Local Area Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
1.2	CONTEXTO DE APLICAÇÃO	18
1.3	OBJETIVOS	19
1.3.1	Objetivo geral	19
1.3.2	Objetivos específicos	19
1.4	JUSTIFICATIVA	19
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	SISTEMAS DE POSICIONAMENTO INTERNO – <i>INDOOR POSITIONING SYSTEM</i> (IPS)	23
2.2	PRINCÍPIOS DE MEDIÇÃO	24
2.2.1	Tempo de voo - <i>Time of Flight</i> (ToF)	25
2.2.1.1	Tempo de chegada - <i>Time of Arrival</i> (ToA)	25
2.2.1.2	Tempo de diferença de chegada - <i>Time Difference of Arrival</i> (TDoA)	27
2.2.2	Força do sinal recebido - <i>Received Signal Strength</i> (RSS)	28
2.2.3	Ângulo de chegada - <i>Angle of Arrival</i> (AoA)	29
2.3	MÉTODOS DE POSICIONAMENTO	30
2.3.1	Proximidade	30
2.3.2	Determinação do centróide	30
2.3.3	Trilateração	31
2.3.4	Triangulação	33
2.3.5	Análises de cena	34
2.4	TECNOLOGIA	34
2.4.1	Marcadores fixos	34
2.4.2	Sistemas inerciais	36
2.4.2.1	Acelerômetro	36
2.4.2.2	Giroscópio	36
2.4.2.3	Magnetômetro	37
2.4.3	Sistemas de campo magnético	37
2.4.4	Sistemas sem fio	38

2.4.4.1	Infravermelho (IR)	38
2.4.4.2	<i>Bluetooth</i>	39
2.4.4.3	Ultrassom (US).....	40
2.4.4.4	<i>Ultra-Wideband</i> (UWB).....	40
2.4.4.5	Identificação por Rádio Frequência (RFID)	41
2.4.4.6	<i>Wireless Fidelity</i> (WIFI)	41
2.4.4.6.1	Multi-trilateração.....	42
2.4.4.6.2	<i>Fingerprint</i> (Análises de cena)	43
2.4.4.6.3	IPS baseados na tecnologia WIFI	48
3	METODOLOGIA	61
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	64
3.2	MATERIAIS	67
3.3	ANÁLISE DOS ROTEADORES DA AREA DE ESTUDO.....	68
3.3.1	Executar um levantamento dos dados dos roteadores	68
3.3.2	Determinar a cobertura da rede WIFI.....	70
3.4	IMPLEMENTAR DE UM APLICATIVO PARA O CÁLCULO DA POSIÇÃO EM AMBIENTE INTERNO	71
3.4.1	Determinar $RSSI_0$ e d_0	71
3.4.2	Calcular as distâncias a partir de um dispositivo móvel a diferentes APs	74
3.4.3	Desenvolver um algoritmo para apresentar todos os APs próximos a um dispositivo móvel	75
3.4.4	Adicionar os dados dos roteadores da rede UFPR SEM FIO a uma base de dados.....	77
3.4.5	Implementar diversas técnicas de posicionamento no aplicativo	78
3.5	AVALIAR A ACURÁCIA DO SISTEMA	84
3.5.1	Avaliar a acurácia na obtenção das distâncias	84
3.5.2	Cálculo da acurácia no modo estático.....	86
3.5.3	Avaliar a acurácia posicional no modo cinemático.....	87
3.6	IMPLEMENTAR E AVALIAR O POSICIONAMENTO DO USUARIO EM TEMPO REAL EM UM MAPA INTERATIVO.....	87
3.6.1	Gerar um mapa em um aplicativo móvel.....	87
3.6.2	Adicionar as camadas da área de estudo	88
3.6.3	Adicionar um marcador com a posição do dispositivo móvel.....	88

3.6.4	Avaliar o sistema na detecção do prédio, andar e sala	91
4	ANÁLISES E RESULTADOS	93
4.1	TESTE 1 - DETERMINAÇÃO DO $RSS _0$ E D_0	93
4.2	TESTE 2 - AVALIAR A ACURÁCIA NA OBTENÇÃO DAS DISTÂNCIAS.....	95
4.3	TESTE 3 - CALCULAR A ACURÁCIA NO MODO ESTÁTICO .	102
4.4	TESTE 4 - AVALIAR A ACURÁCIA POSICIONAL NO MODO CINEMÁTICO.....	107
4.5	TESTE 5 - AVALIAR O SISTEMA NA DETECÇÃO DO PRÉDIO, ANDAR E SALA	109
5	CONCLUSÕES	117
6	RECOMENDAÇÕES.....	120
	REFERÊNCIAS	122

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A navegação de um usuário no ambiente interno é baseada em seu conhecimento do local ou com base em pontos de referências. Isto pode ser auxiliado pela utilização de mapas do tipo “*You Are Here*” ou por um sistema que forneça sua posição, já que primeiro o usuário deve posicionar-se no ambiente para poder navegar neste (SAROT, 2015).

Um sistema de posicionamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias associadas com técnicas de observação que permitem posicionar um objeto em um sistema de referência. Estes sistemas podem ser considerados globais ou locais dependendo da sua cobertura. No caso dos sistemas globais, o uso do GNSS (*Global Navigation Satellite System*) fornece a posição de um elemento em um referencial associado à geometria da Terra; no entanto o posicionamento em um sistema local atinge necessidades específicas, nas quais os sistemas de posicionamento globais nem sempre são a melhor opção ou não podem ser usados devido às restrições técnicas no ambiente, custo econômico ou a estrutura do espaço interno (GHILANI; WOLF, 2014; OGUNDARE, 2015; FIGUEIREDO E SILVA et al. 2019).

Neste contexto, a variação conhecida da posição no tempo em um referencial pode ser definida como navegação, onde o objeto pode deslocar-se entre um ou mais pontos do referencial conhecendo sua trajetória. A navegação tem quatro processos: a determinação da posição, a definição do trajeto, realização da trajetória e a chegada ao destino (DOWNS; STEA, 1977 citado por HUANG; GARTNER, 2010).

Existem diversos sistemas que orientam o usuário na navegação ao nível global e que funcionam da maneira adequada para um ambiente externo (*outdoor*), permitindo a navegação entre distintos pontos como, por exemplo, o trajeto de uma casa a um trabalho. Porém, como as atividades dos humanos são desenvolvidas essencialmente em ambientes internos é preciso um sistema que permita a navegação neste tipo de ambientes (HUANG et al, 2009).

O ambiente interno tem uma série de componentes arquitetônicos, como salas (ambientes diversos), andares e elevadores, e por isso, tem uma estrutura que pode ser complexa se é comparada com o espaço *outdoor*. Então, para obter o posicionamento ou a distância neste ambiente, deve ser considerada a estrutura do local e sua conectividade, ou seja, a acessibilidade entre os espaços diferentes (KANG; LI, 2017).

Neste contexto, a posição de um usuário no espaço *outdoor* normalmente é definida por coordenadas (x, y, z), mas no ambiente interno, além das coordenadas, pode-se melhorar sua representação fornecendo o número da sala ou andar, já que o contexto fica determinado principalmente pelo tipo ou função do espaço em que o usuário esteja (KANG; LI, 2017).

Em quanto para os espaços internos deve-se usar um Sistema de Posicionamento Interno (IPS). Para implementar este tipo de sistema, o modelo de dados espaciais deve ter as seguintes funções: o limite de cada sala deve estar definido em duas ou três dimensões, para poder localizar o ponto (x, y, z) adquirido no posicionamento; na sequência, é preciso ter uma função que corrige o ruído gerado pelo método de posicionamento (KANG; LI, 2017).

De acordo com Mautz (2012), os IPS podem ser divididos com base em suas características, como o algoritmo de posicionamento, a tecnologia, princípio de medição, entre outros. Quanto à tecnologia empregada em sua infraestrutura, os principais sistemas correspondem aos seguintes: os marcadores fixos, sistemas inerciais, sistemas de campo magnético e os sistemas sem fio.

Os sistemas sem fio são baseados no uso das ondas eletromagnéticas para obter a posição de um usuário, podendo ser feitos por diferentes métodos de posicionamento, como triangulação, trilateração, entre outros (MAUTZ, 2012; REGUEIRO, 2014). De acordo com a frequência das ondas empregadas, estes são classificados em: infravermelhos, radiofrequências (RFID), WIFI, *Bluetooth*, redes móveis, *Ultrawideband* e ultrassom. Este tipo de sistema precisa de uma infraestrutura de rede prévia, ou seja, vários sensores fixos no edifício (REGUEIRO, 2014; DESCAMPS-VILA; PÉREZ; CONESA, 2013).

Na atualidade existe a necessidade de ter tecnologias de posicionamento para dispositivos móveis em ambientes internos, devido à alta

demanda destes e somado ao uso das redes de comunicação sem fio. Assim os IPS mais usados são os que utilizam as tecnologias WIFI, já que estas encontram-se presentes na maioria dos edifícios, como hospitais, universidades, centros comerciais, entre outros (TREVISAN; PÉREZ, 2017).

Neste contexto, esta pesquisa parte da hipótese de que a navegação de um usuário em um ambiente interno pode ser assistida por meio da utilização de um aplicativo para posicionamento por redes WIFI, se o usuário tiver a capacidade de receber diferentes sinais, em um aplicativo de um dispositivo móvel.

1.2 CONTEXTO DE APLICAÇÃO

O UFPR CampusMap (UCM) é um projeto desenvolvido pelo grupo de pesquisa em Cartografia e SIG do Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, que tem por objetivo mapear os ambientes externos e internos dos Campus da Universidade Federal do Paraná (UFPR). O projeto possui um sistema web, onde são usados nos ambientes internos duas representações cartográficas: mapa esquemático e planta baixa (DELAZARI et al, 2019).

A ideia surgiu a partir da pesquisa sobre a representação cartográfica dos espaços *internos* e, aos poucos, foram sendo agregadas outras funcionalidades e novos dados, de modo a ter uma representação mais completa destes ambientes.

A pesquisa de Antunes (2016), relacionada à orientação e navegação *no ambiente* interno através da adoção de etiquetas QR-Code na determinação da posição estimada do usuário em tempo real, buscou avaliar a obtenção posicional do usuário neste ambiente, e estabelecer pontos de referência utilizados pelo usuário enquanto este realiza o processo de navegação no entorno.

De acordo com Antunes (2016), a vinculação do QR-Code ao modelo do banco de dados, auxilia o processo de orientação espacial do usuário. Entretanto, este método requer que o usuário tenha o aplicativo para leitura do código instalado no seu celular, bem como acesso à internet.

No trabalho de Lima (2017) foi desenvolvido um aplicativo para disponibilizar o CampusMap em dispositivos móveis, sem a necessidade de uso de navegador.

Atualmente o sistema apresenta funcionalidade de cálculo de rotas entre diferentes pontos, porém não apresenta funcionalidade de posicionamento, e está disponível apenas com acesso à internet em um navegador.

Com base nas considerações iniciais e no contexto, busca-se desenvolver uma solução de posicionamento em ambiente interno, para um *smartphone* com sistema operacional *android*, baseado na utilização das redes WIFI no contexto de aplicação do UFPR CampusMap.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos que tem esta pesquisa são os seguintes:

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver e testar uma solução para posicionamento interno por meio das redes WIFI.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar uma análise dos roteadores da área de estudo;
- Implementar um aplicativo para o cálculo da posição 3D (coordenadas e andar) em ambiente interno;
- Avaliar a acurácia posicional do sistema;
- Implementar e avaliar um mapa interativo que forneça a posição 3D (coordenadas e andar) de um usuário em tempo real.

1.4 JUSTIFICATIVA

Na atualidade, o posicionamento de pessoas ou objetos em espaços externos, como também nos espaços internos, tem um papel importante nas

atividades diárias desenvolvidas pela sociedade. Neste contexto, grande parte dos sistemas de navegação para pedestres são projetados para uso em um espaço externo. Porém, um pedestre quase sempre termina seu trajeto ingressando em um prédio, assim há a necessidade de uma assistência nesse espaço (HUANG, GARTNER, 2010; TREVISAN; PÉREZ, 2017).

No ambiente interno assim como no externo, os pedestres se guiam com base em pontos de referência. Entretanto, estes pontos podem ser alterados com frequência em um ambiente interno, além de que às vezes, é complexo manter a orientação norte-sul como no espaço externo. Por isso, é necessária a implementação de sistemas de posicionamento no ambiente interno para auxiliar o pedestre quando este não conhece o ambiente (ou existem mudanças neste). Quanto aos espaços externos a solução para o posicionamento através de um *smartphone* tem sido a utilização do AGPS (*Assisted Global Positioning System*), que não deve-se empregar nos espaços internos devido à atenuação do sinal causada pela estrutura da edificação. O erro de posicionamento do AGPS neste tipo de ambiente é aproximadamente 32 metros (FIGUEIREDO E SILVA et al. 2019). Outra possibilidade é a utilização dos serviços baseados na telefonia celular que não proporcionam a precisão adequada para um ambiente interno, em razão das diversas configurações que estes ambientes apresentam como sua estrutura (NOSSUM, 2013; TREVISAN; PÉREZ, 2017).

O desenvolvimento dos Sistema de Posicionamento Interno têm como objetivo gerar uma solução para os ambientes internos com respeito à posição de um usuário ou objeto. Os IPS usam diferentes tecnologias em sua implantação que variam de acordo com a precisão e custo, como as tecnologias por radiofrequências ou por sensores inerciais, entre outras (NAMIOT, 2015).

Atualmente existe um interesse crescente pelos Serviços Baseados na Localização (LBS) em dispositivos móveis, os quais têm como objetivo prover informação e serviços com base na posição e no contexto de um usuário. Por exemplo, em um supermercado (ambiente interno) o usuário enquanto caminha pelos corredores poderia ver as ofertas dos diferentes produtos que encontram-se nele (KOLODZIEJ; HJELM, 2006; TREVISAN; PÉREZ, 2017).

Em paralelo ao crescimento dos LBS, as tecnologias de comunicações sem fio, por exemplo, os roteadores WIFI são de uso de grande parte das

peças e estão largamente implantados nos prédios, como no caso da Universidade Federal do Paraná, que tem uma rede de roteadores WIFI chamada “UFPR sem fio”. Uma das razões deste crescimento é acessibilidade econômica e a integração em dispositivos móveis. Assim, as redes WIFI são uma solução adequada para o posicionamento interno, tendo como características ligações de alta velocidade, uma infraestrutura padronizada e fácil de implantar (KOLODZIEJ; HJELM, 2006; PUERTOLAS; MENDOZA; SANZ, 2013).

As técnicas mais usadas em posicionamento por meio de redes WIFI correspondem ao *Fingerprint* e à Trilateração. A primeira é uma técnica que requer uma fase de calibração prévia, onde são armazenados os dados de RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) de diferentes pontos no espaço interno e na qual sua precisão está relacionada à densidade de pontos armazenados, e por isso requer um tempo e custo computacional maior. Isto limita sua implantação em dispositivos móveis, já que gera um atraso na obtenção da posição de 2 a 3 segundos em uma amostra de 40 pontos o que impossibilita sua aplicação em tempo real. Em contraste, a técnica de trilateração calcula a posição de um usuário com base em distâncias desde o dispositivo móvel até aos Pontos de Acesso (AP) e sua precisão depende do algoritmo usado, permitindo sua utilização em tempo real (BOONSRIWAI; APAVATJRUT, 2013).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa encontra-se constituída por cinco capítulos:

- O capítulo 1: apresenta uma introdução ao assunto, com as considerações iniciais, o contexto de aplicação, a hipótese de que a navegação de um usuário em um ambiente interno pode ser assistida por meio da utilização de um aplicativo para posicionamento por redes WIFI, se o usuário tiver a capacidade de receber diferentes sinais, em um aplicativo de um dispositivo móvel; Além disso, os objetivos a serem alcançados e a motivação para sua realização.
- O capítulo 2: proporciona a base teórica segundo os conceitos relacionados com a pesquisa.

- O capítulo 3: descreve a metodologia que foi empregada com a finalidade de cumprir os objetivos propostos, detalhando a área de estudo, os materiais e o método.
- O capítulo 4: apresenta os resultados obtidos de acordo com a avaliação do aplicativo desenvolvido;
- O capítulo 5: apresenta as conclusões do trabalho;
- O capítulo 6: as recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo serão apresentados conceitos que servirão como a base teórica para a realização desta pesquisa. Será apresentado o conceito de Sistema de Posicionamento Interno, sua infraestrutura e sua classificação: de acordo com o princípio de medição, o método do posicionamento, e a tecnologia empregada.

Além disso, será desenvolvida com maior detalhe a tecnologia WIFI, descrevendo os métodos de posicionamento que podem ser usados nela, expondo alguns IPS que usam o WIFI e pesquisas desenvolvidas para esta tecnologia.

2.1 SISTEMAS DE POSICIONAMENTO INTERNO – *INDOOR POSITIONING SYSTEM* (IPS)

Um Sistema de Posicionamento Interno (IPS) corresponde a um conjunto de técnicas que fornecem um posicionamento espacial com diferentes níveis de precisão em um ambiente fechado ou de estrutura coberta. O funcionamento dos IPS é fundamentado em tecnologias sem fio, de rastreamento ótico ou de técnicas ultrassônicas (GU; LO; NIEMEGEREERS, 2009; PUERTOLAS; MENDOZA; SANZ, 2013).

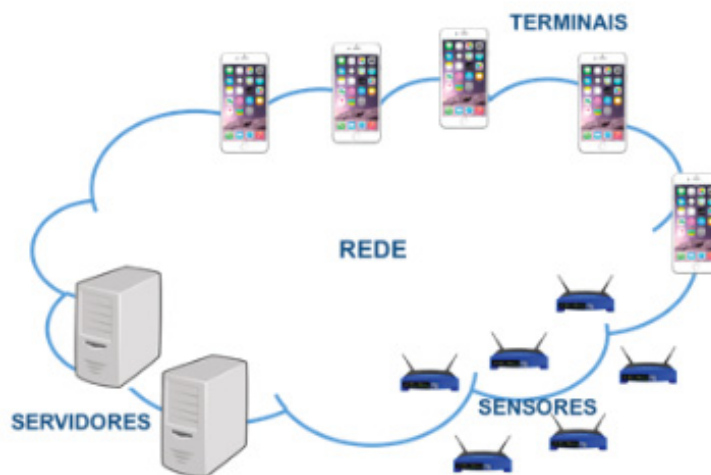
Estes sistemas são implantados em centros de atenção pública, aeroportos, centros comerciais, na assistência de guias de pessoas com necessidades especiais, para a realidade aumentada, controle de maquinarias, entre outros (KOLODZIEJ; HJELM, 2006; MAUTZ, 2012).

Alguns dos aspectos principais para a implementação de um IPS são: precisão, área de cobertura, infraestrutura requerida, análise das vias de comunicação da infraestrutura, dados de saída, taxa de atualização, disponibilidade, custo, privacidade, interface, número de usuários, integridade e adaptabilidade do sistema a um entorno dinâmico (MAUTZ, 2012; HUANG; GARTNER, 2010).

Segundo Kolodziej e Hjelm (2006) um IPS tem uma infraestrutura composta por um sistema de sensores, uma rede, um *software*, servidores e

terminais, ou seja, componentes que fornecem os serviços para obter a posição de um usuário (FIGURA 1).

FIGURA 1 - LAYOUT CONCEITUAL DA INFRA-ESTRUTURA DE UM IPS



FONTE: Adaptado de Kolodziej e Hjelm (2006).

A informação fornecida pelos sensores, por exemplo a intensidade do sinal ou temperatura, é transmitida através da rede, que corresponde ao meio de comunicação entre os sensores e os demais componentes da infraestrutura. Mediante os servidores e terminais, é possível calcular a posição de um usuário, determinada por diferentes métodos, como a triangulação, proximidade, entre outras; para assim, finalmente que o usuário possa ver em seu dispositivo móvel sua posição (KOLODZIEJ; HJELM, 2006).

Os IPS podem ser classificados segundo o princípio de medição, a tecnologia, a quantidade medida, o algoritmo de posicionamento usado, entre outros (MAUTZ, 2012; KOLODZIEJ; HJELM, 2006).

2.2 PRINCÍPIOS DE MEDIÇÃO

Um IPS compila a informação particular de um dispositivo e a processa fornecendo uma estimativa da posição deste. A informação pode vir de diferentes princípios de medição, e de acordo com Bensky (2008) os principais são:

2.2.1 Tempo de voo - *Time of Flight* (ToF)

Este princípio é baseado na obtenção do tempo de voo ou tempo de propagação de uma onda eletromagnética para calcular a distância (D), através da multiplicação do tempo (T) pela velocidade de propagação (v) (BENSKY, 2008). De acordo com Mamyrin (2001) o modelo matemático do princípio ToF é o seguinte:

$$D = v \cdot T \quad (1)$$

Como as distâncias dependem da velocidade de propagação da onda, para o cálculo é preciso conhecer por quais materiais desloca-se esta, já que depende das propriedades do meio de propagação (HALDER; GHOSAL, 2015).

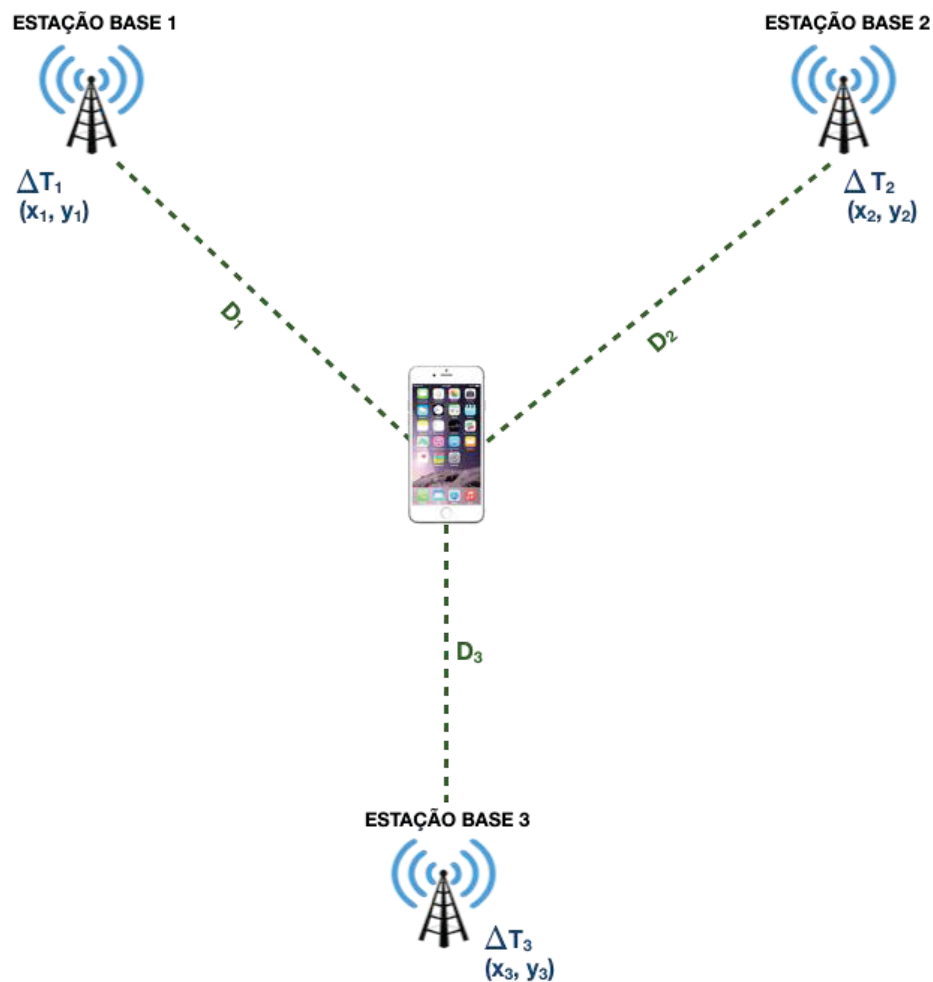
Para Mautz (2012), o ToF depende da precisão e da correta sincronização dos relógios do objeto e dos transmissores, já que no caso da sincronização, um erro de 1 nano segundo gera um erro médio de 30 centímetros na distância. O ToF pode ser determinado das seguintes maneiras:

2.2.1.1 Tempo de chegada - *Time of Arrival* (ToA)

O princípio é fundamentado na medição do tempo de chegada de um sinal desde um dispositivo a três estações base, sendo preciso ter a informação do tempo de início da transmissão do sinal (AL NUAMI e KAMEL, 2011; MAUTZ, 2012). Sendo o ToA a diferença entre o tempo do início da transmissão e o tempo de chegada ao dispositivo.

A posição do objeto (receptor) é calculada mediante a determinação dos pontos de interseção de circunferências, que tem como centro os transmissores e seus raios são distâncias estimadas ao objeto. Para fazer este cálculo é preciso ao menos 3 transmissores, como na FIGURA 2 (BENSKY, 2008).

FIGURA 2 - TIME OF ARRIVAL (ToA)



FONTE: Adaptado de KOLODZIEJ e HJELM (2006).

Onde:

$\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3$: ToA desde as diferentes estações base;

D_1, D_2, D_3 : distâncias desde as diferentes estações base ao objeto;

x_1, y_1 : coordenadas da estação base 1;

x_2, y_2 : coordenadas da estação base 2;

x_3, y_3 : coordenadas da estação base 3.

Segundo Bensky (2008), o modelo matemático é o seguinte:

$$D_1 = (t_1 - t_0) \cdot c \quad (2)$$

$$D_2 = (t_2 - t_0) \cdot c$$

$$D_3 = (t_3 - t_0) \cdot c$$

Onde:

c: velocidade da luz.

Conforme Bensky (2008), a posição do dispositivo é determinada através de uma trilateração, cujo modelo matemático é o seguinte:

$$(x_n - x_d)^2 + (y_n - y_d)^2 = D_n^2 \quad (3)$$

Onde:

(x_n, y_n) : coordenadas das n estações bases;

(x_d, y_d) : coordenadas do dispositivo móvel;

D_n : distâncias a partir das n estações ao dispositivo.

2.2.1.2 Tempo de diferença de chegada - *Time Difference of Arrival* (TDoA)

No TDoA, a distância é calculada mediante a diferença do tempo de chegada dos sinais desde o transmissor aos receptores fixos, com os relógios de ambos sincronizados e no caso da posição do objeto, esta pode ser calculada mediante trilateração. Neste princípio não é necessária a informação do início do tempo de transmissão (BENSKY, 2008; MAUTZ, 2012). Para isto, são enviados dois tipos de sinais aos receptores, sendo a diferenças entre estas o TDoA (AL NUAMI; KAMEL, 2011).

$$t_2 - t_1 = (t_2 - t_0) - (t_1 - t_0) \quad (4)$$

Sendo:

t_1 : tempo do primeiro sinal;

t_2 : tempo do segundo sinal;

t_0 : tempo do início da transmissão.

2.2.2 Força do sinal recebido - *Received Signal Strength* (RSS)

Este princípio emprega as propriedades da atenuação do sinal para poder obter a distância, mediante um indicador da força do sinal recebido, conhecido como *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). O sinal é inversamente proporcional à distância, entre o emissor e o transmissor (GARCIA, 2008; KOLODZIEJ; HJELM, 2006).

De acordo com Boonsriwai e Apavatjirut (2013), a distância é determinada por meio do fator de atenuação do sinal no trajeto percorrido desde os AP até o dispositivo de medição. A distância pode ser obtida a partir do modelo de propagação do sinal no interior (SAKR; EL-SHEIMY, 2017):

$$P_r[dBm] = P_0 - 10\alpha \log\left(\frac{r_n}{d_0}\right) - \epsilon_r \quad (5)$$

Onde:

P_r : RSSI mensurado na posição do dispositivo;

P_0 : RSSI mensurado a uma distância fixa d_0 ;

α : fator de atenuação do sinal no trajeto;

ϵ_r : fator de atenuação pelos materiais onde desloca-se o sinal;

r_n : distância entre um AP e o dispositivo.

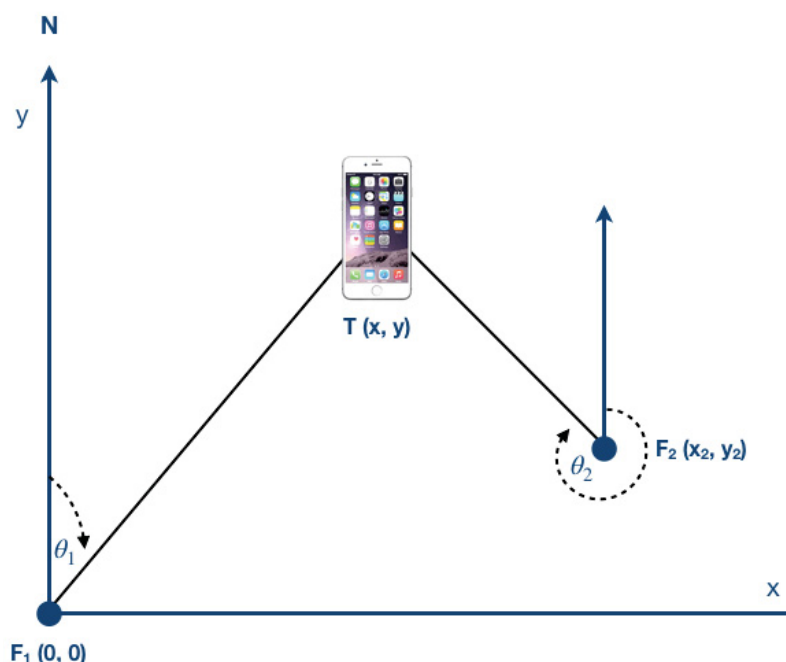
Para o princípio do RSS a infraestrutura necessária corresponde a um sistema que possa ler um resultado de RSSI, implementado no dispositivo, e um *software* para estimar a localização (BENSKY, 2008).

Conforme Bensky (2008), Kolodziej e Hjelm (2006), este princípio tem problemas causados pelas variações da intensidade do sinal, a interferência e o multicaminho, produto da estrutura de um espaço interno.

2.2.3 Ângulo de chegada - *Angle of Arrival* (AoA)

O AoA é fundamentado na determinação do ângulo entre a direção da propagação de uma onda incidente, proveniente de um objeto, e uma direção de referência. Este princípio precisa de uma linha de visada entre o objeto e o transmissor. Cada ângulo estimado gera uma linha entre o AP (*Access Point*) e o objeto, e a interseção das linhas fornece a posição do objeto, como é apresentado na FIGURA 3 (PENG; SICHITIU, 2006; KOLODZIEJ; HJELM, 2006).

FIGURA 3 - ANGLE OF ARRIVAL (AoA)



FONTE: Adaptado de Bensky (2008).

O modelo matemático, segundo Bensky (2008) para este princípio é o seguinte:

$$y = \frac{y_2 \cdot \tan(\theta_2) - x_2}{\tan(\theta_1)} \quad (6)$$

$$x = y \cdot \tan(\theta_1) \quad (7)$$

Neste, são utilizadas antenas direcionais, na obtenção do ângulo de chegada do sinal do transmissor com respeito a uma referência do sistema de coordenada adotado, e ao menos 2 terminais fixos ou AP (PENG; SICHITIU, 2006; BENSKY, 2008).

2.3 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO

Depois da obtenção da informação proveniente dos diferentes princípios, calcula-se a posição do objeto, segundo um método de posicionamento, entre os quais se destacam:

2.3.1 Proximidade

Neste método, a posição do objeto é atribuída ao transmissor mais perto, ou seja, o objeto fica com as coordenadas deste. No caso que sejam dois ou mais transmissores, é considerada a intensidade do sinal mais forte (AL NUAMI; KAMEL, 2011; BRKOVIĆ; SIMIĆ, 2014).

De acordo com Mautz (2012), o método deve ser empregado em áreas específicas, já que tem um alcance limitado, enquanto a sua precisão depende da distribuição espacial e da quantidade dos transmissores, além de estar sujeito ao alcance do sinal.

2.3.2 Determinação do centróide

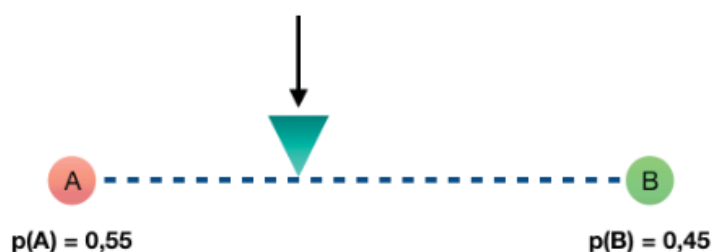
Este compreende duas etapas, a primeira chamada de “treinamento”, na qual são feitas múltiplas leituras em um ponto, armazenando como dado de posição a resultante da média aritmética das posições calculadas aos diferentes transmissores. O processo é repetido com os demais pontos, ficando armazenadas as posições em um mapa. Depois disso, o mapa é usado para determinar a posição do objeto no momento de posicionamento (KOLODZIEJ; HJELM, 2006).

Além da utilização da média aritmética das posições, o método pode determinar os valores ponderados do centróide, no qual são estabelecidos

diferentes pesos para os transmissores, de acordo com os valores obtidos de RSSI ou com a determinação das distâncias de cada um deles (MAUTZ, 2012).

Um exemplo da determinação da ponderação dos centróides, encontra-se em Youssef e Agrawala (2004). A FIGURA 4, ilustra um objeto no meio de dois transmissores, onde a intensidade recebida no ponto A é diferente à recebida no B. Os pontos A e B são atribuídos de pesos de 0.55 e 0.45 respectivamente de acordo as intensidades do sinal. Portanto, o objeto fica mais perto do transmissor com maior peso.

FIGURA 4 - ESTIMATIVA DA POSIÇÃO PELO MÉTODO DO CENTRÓIDE PONDERADO

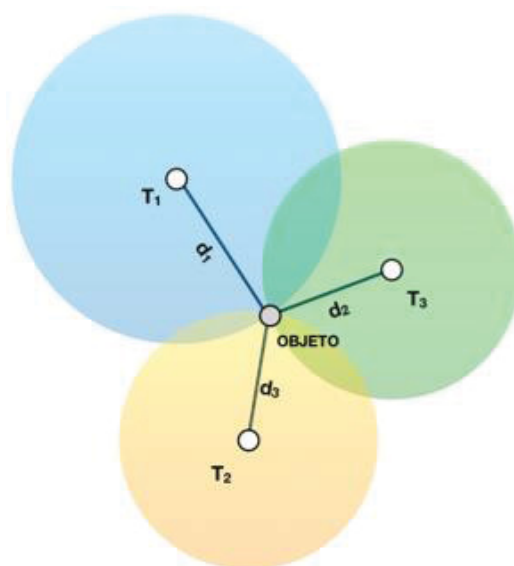


FONTE: Adaptado de Youssef e Agrawala (2004).

2.3.3 Trilateração

É baseada na estimativa da posição de um objeto medindo a distância em relação a múltiplos pontos de referência, como é apresentado na FIGURA 5. Para duas dimensões são necessários ao menos 3 pontos, enquanto que para três serão necessários 4 pontos. As distâncias podem ser calculadas de acordo aos princípios ToA, TDoA ou RSS, no entanto, as coordenadas dos transmissores devem ser previamente conhecidas (GARCÍA, 2008; REGUEIRO, 2014).

FIGURA 5 - ESTIMATIVA DA POSIÇÃO PELO MÉTODO DE TRILATERAÇÃO



FONTE: Adaptado de Liu et al (2007).

No caso da utilização do princípio RSS, o objeto detecta a intensidade do sinal dos transmissores, e a posição deste fica determinada pela interseção das direções dos sinais. Com base nos mapas de cobertura circular, estima-se um conjunto de distâncias que são combinadas para identificar pontos de interseção. A área com a maior quantidade de pontos presume-se que corresponde à área do objeto (KOLODZIEJ; HJELM, 2006).

O modelo matemático deste método é o seguinte:

$$(x_n - x_d)^2 + (y_n - y_d)^2 = r_n^2 \quad (8)$$

Onde:

(x_n, y_n) : coordenadas dos n AP.

(x_d, y_d) : coordenadas do dispositivo.

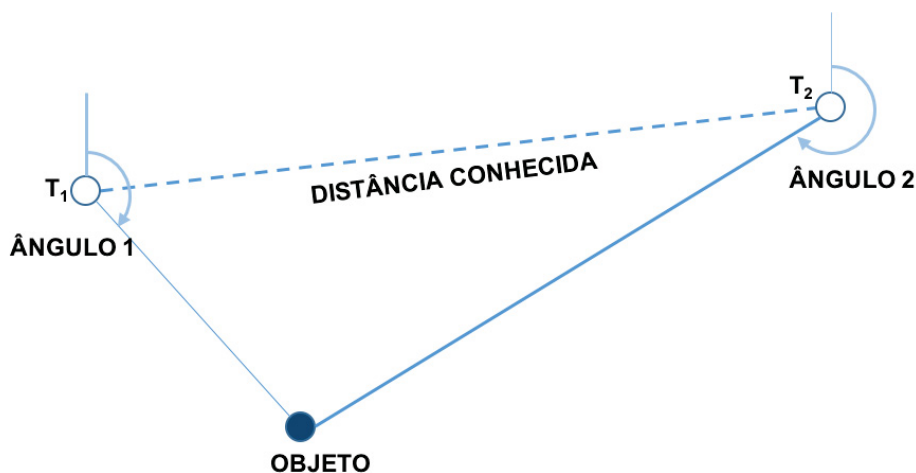
r_n : distâncias a partir de n AP ao dispositivo.

n : número de roteadores.

2.3.4 Triangulação

Para este método são necessários dois ângulos e a distância entre dois pontos de referência (transmissores), para o cálculo da posição bidimensional, como é apresentado na FIGURA 6 (GARCÍA, 2008; AL NUAMI; KAMEL, 2011).

FIGURA 6 - ESTIMATIVA DA POSIÇÃO PELO MÉTODO DE TRIANGULAÇÃO



FONTE: Adaptado pela autora de Garcia (2008).

Segundo Bensky (2008) o modelo matemático da triangulação é o seguinte:

$$x = \frac{D \tan(\alpha_2)}{\tan(\alpha_2) - \tan(\alpha_1)} \quad (9)$$

$$y = \frac{D \tan(\alpha_1) \cdot \tan(\alpha_2)}{\tan(\alpha_2) - \tan(\alpha_1)} \quad (10)$$

Onde:

(x,y): coordenadas do objeto;

D: distância conhecida;

α_1 : ângulo com respeito ao primeiro transmissor em direção ao objeto;

α_2 : ângulo com respeito ao segundo transmissor em direção ao objeto.

2.3.5 Análises de cena

Neste método, observa-se diferentes cenas, as quais são armazenadas, para obter posteriormente a posição de um objeto. Quando existem variações nas cenas observadas, é possível definir se o objeto está em movimento ou não. As cenas podem ser uma imagem, um RSSI, ou qualquer parâmetro físico (GARCÍA, 2008; CONTE, 2015).

2.4 TECNOLOGIA

Quanto às tecnologias os IPS são classificados segundo:

2.4.1 Marcadores fixos

Os marcadores fixos correspondem ao sistema no qual os marcadores reconhecíveis, por um dispositivo específico, são distribuídos em diferentes pontos de uma edificação. Nestes, podem ser usados códigos QR (*Quick Response Codes*), BIDI (Bidimensional), entre outros (DESCAMPS-VILA, PÉREZ; CONESA, 2013).

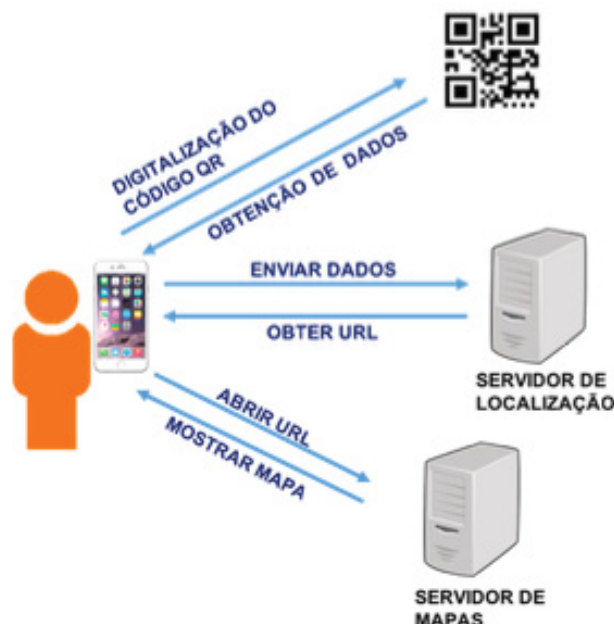
Os marcadores são referenciados conforme o sistema no qual vai ser ligado, por exemplo, pode ser um sistema local ou a base de dados de *Google Maps* (MAUTZ, 2012; REGUEIRO, 2014).

O usuário mediante a câmera de seu *smartphone* escaneará o código, a codificação será enviada a um servidor de localização, o qual devolverá uma URL (*Uniform Resource Locator*) mostrando o mapa específico centrado na posição do usuário, como na FIGURA 7 (PUERTOLAS; MENDOZA; SANZ, 2013; COSTA et al. 2011).

Durante todo o processo, é analisada a informação do mapa e os locais, gerando um arquivo com o nome completo e abreviado do mapa, o número de plantas e o número de locais diferentes neste. Quando é feito o posicionamento, o local é descrito por: tipo, ou seja, se ele é um elevador, uma sala ou uma escada; andar, longitude, latitude e nome (COSTA et al. 2011).

Posteriormente ao processo de digitalização, o usuário deve fazer sua localização física no local com base no mapa recebido, na sequência, ele vai poder navegar no ambiente.

FIGURA 7 - MODELO PARA UM SISTEMA DE CÓDIGOS QR



FONTE: Adaptado de Costa et al. (2011).

Pelas características deste tipo de posicionamento não é preciso um hardware especial nem um transmissor. Só são necessários um servidor de mapas, um servidor local e um *smartphone*, por isso, sua implantação e desenvolvimento não requerem uma infraestrutura complexa (COSTA et al. 2011; PUÉRTOLAS et al. 2013).

De acordo com Descamps-Vila, Pérez e Conesa (2013), e Regueiro (2014), os marcadores fixos não são considerados sistemas de localização, já que, este processo deve ser feito pelo usuário. Ademais, estes sistemas não permitem a navegação, pois não são dinâmicos. Da mesma forma, precisa da ação do usuário, já que ele escolhe quando digitalizar o código.

A precisão do posicionamento depende da precisão da posição do marcador ao realizar o levantamento dos códigos. Estes sistemas podem alcançar uma precisão de centímetros (REGUEIRO, 2014).

2.4.2 Sistemas inerciais

São baseados em uma técnica de navegação autônoma, na qual são utilizadas medições fornecidas por acelerômetros, giroscópios e magnetômetro, com a finalidade de rastrear a posição e orientação de um objeto em relação a um ponto de partida com orientação e velocidade conhecidas, visando determinar a distância percorrida e a orientação do objeto em movimento (SHALA; RODRIGUEZ, 2011; DESCAMPS-VILA; PÉREZ; CONESA, 2013).

2.4.2.1 Acelerômetro

O acelerômetro está relacionado com o fenômeno de peso gerado em uma massa de referência conhecida pelo dispositivo de medida. A principal fonte de erro do acelerômetro é o “*bias*”, que corresponde ao *offset* do sinal de saída com relação a seu valor verdadeiro, este gera constantemente um erro na posição que tem um crescimento quadrático ao longo do tempo (SHALA; RODRIGUEZ, 2011; REGUEIRO, 2014).

A calibração da medição do acelerômetro pode ser realizada periodicamente, medindo a variação de aceleração do dispositivo em repouso e considerando a aceleração devido ao movimento da Terra (DESCAMPS-VILA; PÉREZ; CONESA, 2013).

2.4.2.2 Giroscópio

O giroscópio mede a orientação baseado nos princípios de conservação do momento angular. Nos *smartphones* é empregada a tecnologia *Micro Electro-Mechanical System (MEMS)* que mede a velocidade angular em função da rotação dos eixos (SHALA; RODRIGUEZ, 2011; REGUEIRO, 2014).

Sua principal fonte de erro corresponde ao “*bias*”, que gera um crescimento linear ao longo do tempo, o qual pode ser corrigido calculando a variação gerada no dispositivo em repouso (SHALA; RODRIGUEZ, 2011).

2.4.2.3 Magnetômetro

O magnetômetro é utilizado para medir a força e a direção do campo magnético. Nos dispositivos móveis são empregados magnetômetros vetoriais que medem a componente do campo magnético em uma dada direção relativa à orientação espacial do dispositivo (SHALA; RODRIGUEZ, 2011; REGUEIRO, 2014).

As fontes principais de erros nos magnetômetros são a contaminação magnética do sensor e a presença de elementos ou material ferroso na construção do instrumento. O erro é estimado por meio de medidas a longo prazo no dispositivo em repouso (REGUEIRO, 2014).

Para empregar os Sistemas Inerciais como sistema de posicionamento, devem ser integrados os três sensores mencionados, considerando as fontes de erros e as calibrações requeridas para cada um. É necessária a realização de três testes no dispositivo com o fim de modelar os erros. Os testes envolvem: medições com o dispositivo em repouso, com o dispositivo em movimento sobre um objeto e com o dispositivo em mãos caminhando (REGUEIRO, 2014).

Já que os atuais *smartphones* são compostos com sensores inerciais, estes IPS não precisam de uma infraestrutura complexa, mas sim de pontos de referência (DESCAMPS-VILA; PÉREZ; CONESA, 2013). Um exemplo da utilização deste tipo de tecnologia foi desenvolvido por Zhang et. al. (2013), onde os autores usaram os sensores de um *smartphone* obtendo uma precisão de 0,3 metros.

De acordo com Regueiro (2014), a precisão do posicionamento depende da precisão dos sensores do dispositivo que será usado, da modelagem dos erros e da calibração periódica do sistema. O valor da precisão varia de 10 a 100 metros.

2.4.3 Sistemas de campo magnético

Neste tipo de sistemas é empregada a bússola de um *smartphone* para medir o campo magnético de um ponto determinado. Primeiro são medidos os valores do campo magnético em diferentes pontos para gerar um mapa de

calibração com estes dados. Posteriormente na realização do posicionamento, os dados medidos são comparados com os obtidos na calibração, para assim, posicionar ao usuário (MAUTZ, 2012; DESCAMPS-VILA; PÉREZ; CONESA, 2013).

O sistema é baseado na concepção de que o campo magnético é constante em cada ponto, podendo variar devido aos aparatos eletrônicos, daí que o sistema precisa ser calibrado no tempo (DESCAMPS-VILA; PÉREZ; CONESA, 2013).

2.4.4 Sistemas sem fio

Os sistemas sem fio são baseados no uso das ondas eletromagnéticas com o propósito de obter a posição do usuário (MAUTZ, 2012). Considerando a frequência da onda empregada, estes sistemas podem ser classificados em:

2.4.4.1 Infravermelho (IR)

Fazem uso do espectro invisível de luz abaixo da faixa vermelha do espectro visível, o IR pode ser utilizado de forma direta ou difusa (MAUTZ, 2012).

No caso da forma direta são usados receptores IR fixos em diferentes pontos do espaço com coordenadas conhecidas. Estes devem ser fixados em cada sala do espaço interno, já que o IR não atravessa materiais como paredes ou teto. Para fazer o posicionamento o usuário deve aproximar transmissor ao receptor. Estes transmissores são considerados ativos já que elas emitem pulsos IR aos receptores. O método precisa uma linha de visão entre os transmissores e receptores sem a interferência de luz forte, fazendo com que o alcance do sistema seja limitado (AL-AMMAR et al. 2014; GU; LO; NIEMEGERERS, 2009).

Na forma difusa, os sinais são fortes, e têm um alcance de 9 a 12 metros, não precisa de uma linha de visão entre o transmissor e o receptor. Esta técnica permite múltiplas conexões na mesma sala ou habitação, produto de que os sinais vão e volta ao redor do espaço interno (SVALASTOG, 2007; MAUTZ, 2012).

2.4.4.2 Bluetooth

O *Bluetooth* usa a frequência de rádio de 2,4 (GHz). Para sua implementação como um IPS é preciso uma rede densa de receptores instalados em diferentes pontos, como na FIGURA 8. O alcance de cada dispositivo é de até 3 metros, como consequência o método de posicionamento de proximidade tem sido o mais usado (SVALASTOG, 2007; MARINELLI; TOLOZA; ACOSTA, 2013).

FIGURA 8 - POSICIONAMENTO COM BLUETOOTH



FONTE: Adaptado pela autora de Gu, Lo e Niemegeers (2009).

O posicionamento é feito mediante dois dispositivos, que quando ficam próximos estabelecem uma ligação. Um dispositivo com esta tecnologia pode gerar conexões múltiplas de acordo à proximidade com outros, fazendo com que o usuário tenha que escolher com qual dispositivo pretende-se conectar (KOLODZIEJ; HJELM, 2006; SVALASTOG, 2007).

Primeiramente, são registrados os dispositivos de referência com suas coordenadas. No momento de fazer o posicionamento, se for usado o método de proximidade e se o usuário estiver no alcance de um dos dispositivos de referência, os dispositivos farão a conexão entre eles, e a posição a ser entregue

ao usuário vai ser a coordenada do dispositivo de referência ligado. Se forem detectados dois ou mais sinais, vai ser entregue para o usuário a posição do sinal *Bluetooth* mais forte (BANIUKEVIC et al. 2011).

Além da proximidade, pode ser usado o RSS gerando uma triangulação, já que estes dispositivos podem fazer múltiplas conexões, possibilitando-se determinar uma posição aproximada do usuário (KOLODZIEJ; HJELM, 2006).

2.4.4.3 Ultrassom (US)

Este tipo de IPS normalmente usa múltiplos transmissores fixados no teto, os quais transmitem o pulso de ultrassom, para fazer o posicionamento. Geralmente é processado o ToF entre os transmissores e o usuário, mais também pode ser usado o método de proximidade (KOLODZIEJ; HJELM, 2006; PUÉRTOLAS et al. 2013).

A precisão pode estar afeta com a transmissão de múltiplos sinais, já que ao fazer o posicionamento de mais de um objeto, estes podem interferir uns com outros (PUÉRTOLAS et al. 2013).

2.4.4.4 *Ultra-Wideband* (UWB)

Neste tipo de IPS são instaladas múltiplas antenas transmissoras UWB, que emitem uma série de pulsos curtos (na ordem dos nano segundos), e receptoras com coordenadas conhecidas. Ao fazer o posicionamento são rastreadas as ondas obtidas nesse instante com as ondas constantes no tempo, podendo usar os métodos AoA, ToA ou TDoA (KOLODZIEJ; HJELM, 2006; MAUTZ, 2012).

Além desse método, é possível utilizar para UWB o RSS, que corresponde a um procedimento no que o usuário leva consigo o objeto transmissor da onda e ficam fixados múltiplos receptores de coordenadas conhecidas, onde a distância pode ser calculada por meio de ToA ou TDoA e a posição por trilateração (MAUTZ, 2012).

2.4.4.5 Identificação por Rádio Frequência (RFID)

A tecnologia de Identificação por Rádio Frequência (RFID) consta de um microchip que pode armazenar até 2 (kB) de dados e uma antena de rádio (SVALASTOG, 2007). Um IPS que conste desta tecnologia, é composto por vários leitores e *tags* RFID (LIU et al. 2007)

Existem dois tipos de sistemas RFID: O sistema passivo, onde são usados *tags* que não tem transmissor nem bateria integrada. O leitor envia a energia por ondas eletromagnéticas. O sistema tem um alcance de até 9 metros, e ao momento do posicionamento o método usado é a proximidade. No sistema ativo, no qual são usados *tags* com transmissor e fonte de energia, estas transmitem os sinais permitindo que o leitor possa ler a informação proveniente delas, com um alcance que varia de 20 a 100 metros. No posicionamento, os *tags* podem ser configurados para transmitir o sinal quando estão próximo do leitor ou estabelecendo-se tempos de transmissão do sinal (SVALASTOG, 2007; PUÉRTOLAS et al. 2013).

2.4.4.6 *Wireless Fidelity* (WIFI)

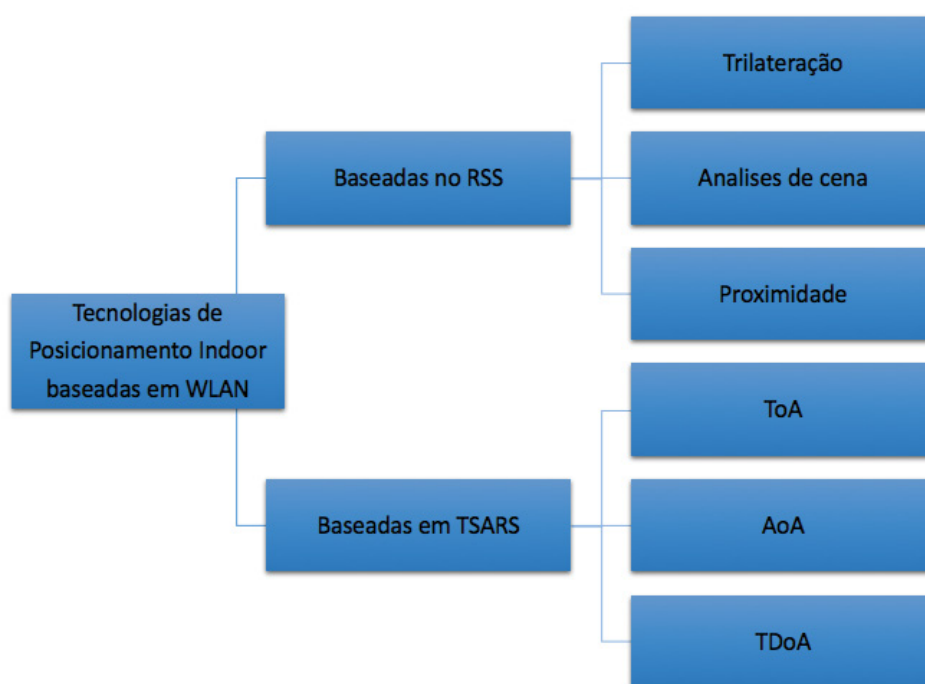
A tecnologia WIFI é um padrão de rede de área local sem fio (WLAN), correspondente à transmissão do sinal de frequência de rádio, desde diferentes AP chamados de roteadores, com um faixa de alcance de 100 metros e uma frequência de 2.4 (GHz) e 5 (GHz) (XIA et al. 2017). De acordo com Marques, Meneses e Moreira (2012) esta tecnologia é reconhecida como uma infraestrutura apta para gerar um IPS, isto por sua capacidade de cobertura, sua alta velocidade de propagação, por estar implantada em grande parte dos edifícios e *smartphones*, e porque tem um padrão estabelecido de infraestrutura.

Os AP têm como parâmetros um identificador único chamado BSSID (*Basic Service Set Identifier*), o SSID (*Service Set Identifier*) que corresponde ao nome do AP, o RSSI, a encriptação (o tipo de codificação de dados), e a frequência que identifica o canal de uso (LLADÓS et al. 2011).

Para realizar o posicionamento com esta tecnologia são necessários múltiplos roteadores WIFI e a utilização de um dispositivo como um *smartphone*. Este aparelho deve medir a intensidade do sinal desde diferentes AP e calcular mediante um algoritmo a posição do usuário.

Existem duas tecnologias de posicionamento baseadas no sinal WIFI (FIGURA 9), a primeira chamada de Atributos de Tempo e Espaço da Tecnologia de Posicionamento Baseado no Sinal Recebido (TSARS) e a utilização do princípio RSS (XIA et al. 2017).

FIGURA 9 - TECNOLOGIAS DE POSICIONAMENTO BASEADA NO WIFI



FONTE: Adaptado de Xia et al. (2017).

As técnicas baseadas no princípio RSS serão mais desenvolvidas teoricamente nesta pesquisa.

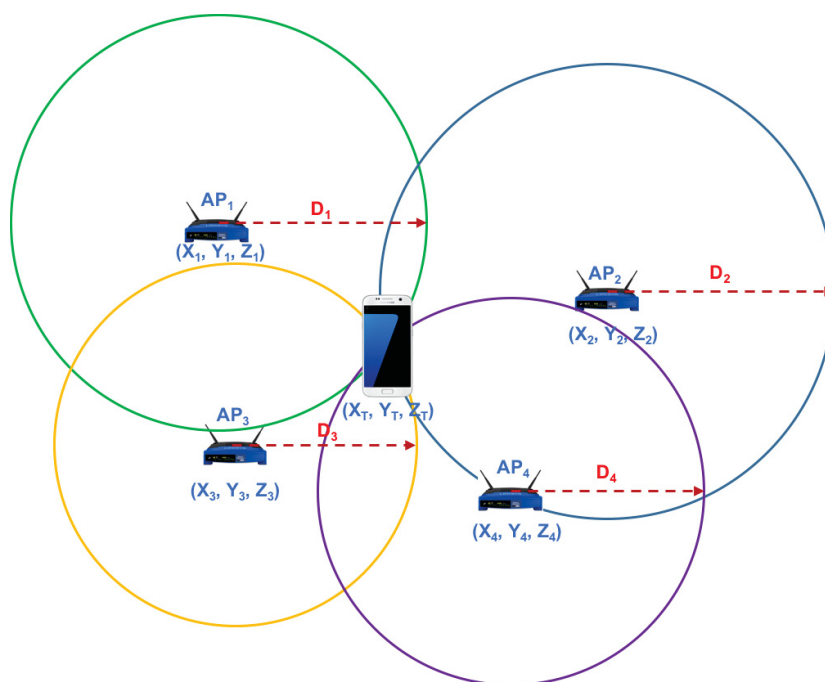
2.4.4.6.1 Multi-trilateração

Segundo Trevisan e Pérez (2017), na multi-trilateração são usadas as potências de ao menos três AP que reconhece o objeto, como na FIGURA 10, para assim gerar um sistema de equações que tem como solução as

coordenadas da posição do usuário, o modelo matemático foi apresentado na EQUAÇÃO 8.

De acordo com Kolodziej e Hjelm (2006) esta técnica tem problemas que diminuem a precisão do posicionamento, já que está baseada em mapas de cobertura circular uniforme, e na realidade o comportamento da intensidade WIFI não tem esta característica, já que este tipo de sinais encontra-se condicionado a estrutura do espaço interno, gerando mapas de coberturas que não sempre tem a forma circular.

FIGURA 10 - MULTI-TRILATERAÇÃO



FONTE: Adaptado de Trevisan e Pérez (2017).

2.4.4.6.2 *Fingerprint* (Análises de cena)

O *Fingerprint* está baseado no princípio de RSS e na utilização do método de análise de cenário. Esta técnica está composta por duas etapas uma *off-line* e outra *online* (KORNUTA; ACOSTA; TOLOZA, 2013).

A primeira etapa corresponde à *off-line* ou conhecida como treinamento, onde são armazenadas coordenadas e RSSI (desde todos os AP de alcance nessa posição) de diferentes pontos na área de interesse. Este procedimento

gera um mapa padrão chamado *Radio Map* ou Mapa de potências. Para cada ponto é armazenado um vetor de potência dos RSSI para cada AP (KORNUTA; ACOSTA; TOLOZA, 2013; TREVISAN; PÉREZ, 2017).

Para Marques, Meneses e Moreira (2012), além da densidade de pontos, nestes deve ser mensurada a RSSI em distintas altitudes para poder melhorar o posicionamento 3D.

Na segunda fase chamada etapa *online*, o sistema faz o posicionamento, mediante as leituras de RSSI de diferentes AP, as quais são armazenadas em um vetor. Posteriormente, é calculada a estimação da posição do usuário com base aos dados armazenados e mediante um algoritmo (KORNUTA; ACOSTA; TOLOZA, 2013; SIMÕES, 2015). De acordo com Marques, Meneses e Moreira (2012), o problema gerado nesta segunda fase é que diferentes dispositivos podem mensurar variações na intensidade de um AP na mesma posição.

Conforme Prasithsangaree, Krishnamurthy e Chrysanthis (2002), outro problema que pode ter esta técnica acontece na fase *online*, já que no momento da fase *off-line* o dispositivo armazena dados dos APs detectados para um ponto, os quais podem ser diferentes aos detectados na fase online para o mesmo ponto, fornecendo uma posição diferente ao usuário, assim diminuindo o desempenho da técnica no posicionamento.

De acordo com Lladós et al. (2011) para gerar um erro menor na estimativa da posição do usuário, na realização do *Radio Map* devem ser armazenados os dados dos extremos e do centro de cada ambiente, assim permitindo a determinação da sala onde encontra-se localizado o usuário.

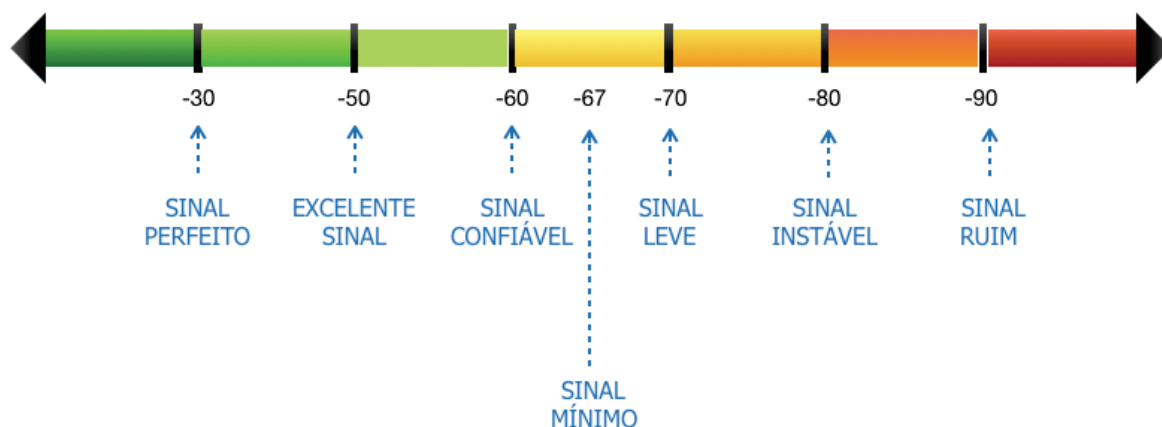
Para Jorge (2014), devem ser feitos diversos *Radio Map* para diferentes horários, com a finalidade de diminuir o efeito produzido pelas variações do sinal no posicionamento, assim, no momento de posicionar um usuário usa-se o mapa mais representativo, como no caso da noite onde a presença das pessoas é menor que no dia.

Existem vários algoritmos para a utilização da técnica *Fingerprint* como a Heurística de Proximidade, KNN (*K-Nearest-Neighbor*), redes neurais, Heurística de Movimento, a Teoria de Bayes, SVM (*Support Vector Machine*) e SMP (*Smallest M-vertex Polygon*) (REGUEIRO, 2014; BRKOVIĆ; SIMIĆ, 2014; TREVISAN; PÉREZ, 2017).

Em relação à tecnologia WIFI, de acordo com Marques, Meneses e Moreira (2012), a propagação do sinal desta em espaços internos é complexa, devido às mudanças da intensidade por modificações no entorno, como portas abertas ou fechadas, variações climáticas, como umidade e temperatura, pelo movimento das pessoas, e pela mesma estrutura do espaço interno. De acordo com Prasithsangaree, Krishnamurthy e Chrysanthis (2002), à medida que aumenta o número de paredes pelas quais desloca-se o sinal, diminui a acurácia do posicionamento, já que por cada parede do trajeto tem-se uma variação de aproximadamente 55 centímetros na posição do usuário.

De acordo com EYESAAS (2018) quando um dispositivo mede uma intensidade maior é porque encontra-se muito próximo de um AP, e esta diminui à medida que aumenta a distância entre o dispositivo e o AP. Além disso, de acordo ao valor dela é possível estabelecer um intervalo de qualidade do RSSI, como é apresentado na FIGURA 11.

FIGURA 11 - INTENSIDADE DO RSSI



FONTE: Adaptado de Eyesaas (2018)

Segundo Kolodziej e Hjelm (2006), O sinal WIFI encontra-se condicionado a problemas como:

- Atenuação do sinal: já que as estruturas do ambiente diminuem a intensidade que recebe o dispositivo;

- Oclusão: os objetos ou a estrutura do espaço podem fazer que o dispositivo não detecte um AP que se encontra próximo dele;
- Reflexão: quando o sinal é refletido em objetos ou na mesma estrutura do espaço, gerando um caminho maior ao esperado até o dispositivo, assim, obtendo uma menor intensidade do sinal recebido pelo dispositivo.
- Multicaminho: O sinal WIFI pode fazer múltiplas rotas antes de chegar ao dispositivo de medição, se o sinal faz o caminho menos direto até o sensor, o sensor mensurará um sinal mais baixo, e ao fazer o cálculo da distância, o dispositivo ficara mais longe do AP.

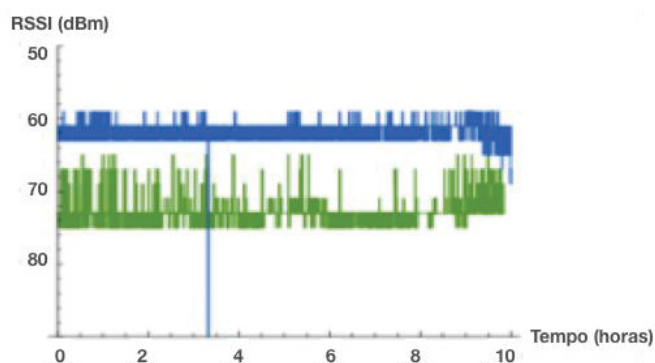
De acordo com Kornuta, Acosta e Toloza (2013), a perda do sinal WIFI depende do tipo de material pelo qual desloca-se, gerando variações entre 3 até 25 (dBm) como é apresentado na TABELA 1.

TABELA 1 - PERDA DO SINAL DE ACORDO COM O MATERIAL

Obstáculo	Perda do sinal aproximada (dBm)
Janela de vidro	3
Janela de metal	5 - 8
Parede fina	5 - 8
Parede media	10
Parede grossa (\approx 15 cm)	15 - 20
Parede muito grossa (\approx 30 cm)	20 - 25
Piso ou teto grosso	15 - 20
Piso ou teto muito grosso	15 - 25

FONTE: Adaptado de Kornuta, Acosta e Toloza (2013).

FIGURA 12 - VARIAÇÕES DO RSSI DE UM AP AO LONGO DO TEMPO



FONTE: Marques, Meneses e Moreira (2012)

A FIGURA 12, amostra as variações de RSSI obtidas por Marques, Meneses e Moreira (2012) ao longo de 10 horas com diferentes dispositivos. Isto foi feito com intervalos de medição de 5 segundos. O experimento mostrou que tem-se variação devido aos diferentes hardware, além de apresentar as variações do RSSI derivadas da presença das pessoas, já que os autores registraram o aumento de pessoas desde as 08:00 a.m.

Segundo Trevisan e Pérez (2017), a presença de uma maior quantidade de pessoas no espaço interno pode gerar um aumento no erro de posicionamento de mais de 1 metro, isto é função de que o corpo humano absorve o sinal WIFI gerando uma diminuição na potência recebida pelo receptor.

No estudo feito por Lladós et al. (2011) foi concluído que as variações de altitude podem gerar diferenças de RSSI de até 7 (dBm) no mesmo ponto de aquisição. Além de concluir que a presença das pessoas no trajeto do sinal, desde o transmissor ao receptor, modifica os valores de RSSI, este pode ser maior se a pessoa fica próxima ao receptor.

De acordo com Boonsriwai e Apavatjirut (2013), o GNSS gera uma melhor precisão no posicionamento quando são observadas uma maior quantidade de satélites, isto de acordo com o índice de *Dilution Of Precision* (DOP), no caso do posicionamento por WIFI, uma grande quantidade de AP não implica uma melhoria na precisão, já que à medida que são observados os sinais de mais AP é mais provável que nessa amostra existam roteadores de baixa

qualidade do sinal, gerando uma inexatidão no cálculo. No experimento descrito quando é usado o método de multi-trilateração o posicionamento tem melhor precisão quando a quantidade de AP é menor do que quatro.

Na pesquisa de Dolińska, Masiukiewicz e Rzadkowski (2013) com base na EQUAÇÃO 5 (fator de atenuação do sinal no trajeto percorrido), é apresentada a formulação com respeito à cobertura, potência transmitida e o nível de interferência no RSSI (EQUAÇÃO 11), isto já que no sinal WIFI a potência tem interferência produto da transmissão de outros sinais de rádio na mesma frequência. De acordo com a pesquisa desse autores, eles determinaram o valor da atenuação como 27,56 (dBm), que é descontado na formulação.

$$P_r[dBm] = -27,56 + 10 \cdot \alpha \log(r_n)[m] + 20 \cdot \log(f)[mHz] \quad (11)$$

Onde:

Pr: RSSI mensurado na posição do dispositivo;

α : fator de atenuação do sinal no trajeto;

r_n : distância entre um AP e o dispositivo;

f : frequência de transmissão do AP;

2.4.4.6.3 IPS baseados na tecnologia WIFI

Durante os últimos anos foram desenvolvidos distintos sistemas de posicionamento, privados e públicos, baseados nas radiofrequências. Alguns dos principais IPS mediante WIFI são:

- RADAR: corresponde ao primeiro IPS baseado no sinal WIFI com base cartográfica do *Bing Maps*. O algoritmo de posicionamento foi projetado em base à distorção produto do movimento do usuário com um dispositivo móvel. Neste IPS foi usada a técnica *Fingerprint* considerando os efeitos gerados pelas pessoas e os fatores ambientais presentes no ambiente. A precisão deste IPS é de 2 a 3 metros (BAHL; PADMANABHAN, 2000; MICROSOFT RESEARCH, 2001);

- *Skyhook*: este sistema usa as tecnologias WIFI, redes moveis e GPS, gerando uma precisão no posicionamento entorno de 10 metros. A base cartográfica vem de *MapQuest*, (KASHEVNIK; SHCHEKOTOV, 2012; SKYHOOK, 2018);
- *HORUS*: usa a técnica de *Fingerprint* para fazer o posicionamento, com uma precisão de 2 até 3 metros. Foi desenvolvido para computadores na plataforma *Windows* e *Linux* (YOUSSEF; AGRAWALA, 2004; KASHEVNIK; SHCHEKOTOV, 2012);
- *INFISOFT*: usa as tecnologias *Bluetooth*, WIFI, RFID e UWB. Sua interface é apresentada na FIGURA 13, este IPS foi desenvolvido com fins comerciais e sua precisão depende da tecnologia empregada, no caso da tecnologia WIFI tem uma precisão de 5 a 15 metros (INFISOFT, 2018).

FIGURA 13 - APLICATIVO INFISOFT



FONTE: INFISOFT, 2018.

- *PlaceLaB*: corresponde a um sistema de código aberto, e pode ser executado em computadores e *smartphones*. Mistura as tecnologias GSM, WIFI e *Bluetooth* para gerar o posicionamento, usando a técnica *Fingerprint*. Sua precisão é de aproximadamente 13 a 30 metros (SOHN et al, 2006; KASHEVNIK; SHCHEKOTOV, 2012);
- *EKAHAU RTLS*: este IPS corresponde a um sistema híbrido, ou seja, usa mais de uma tecnologia para gerar o posicionamento do usuário. Neste caso, são usadas as tecnologias de radiofrequências RFID e WIFI

proporcionando uma precisão de 1 até 3 metros. Permite agregar as plantas da edificação e fazer o posicionamento em tempo real de múltiplos usuários. Sua interface encontra-se na FIGURA 14 e seu design está proposto para a melhoria na tomada de decisões na área industrial, de saúde, entre outros; já que gera alertas e relatórios de informação como tempo de permanência no espaço interno, registros de posicionamento de uma pessoa, entre outros (EKAHAU RTLS GUIDE, 2008; EKAHAU REAL-TIME LOCATION SYSTEM; 2015);

FIGURA 14 - APLICATIVO EKAHAU



FONTE: EKAHAU (2018).

- *Redpin*: corresponde a um IPS de código aberto, desenvolvido para fornecer uma precisão de 2,32 metros aproximadamente. Pode usar a tecnologia WIFI, Bluetooth e GSM e está baseado na técnica *Fingerprint*, armazenando os dados de RSSI em base ao nome da sala, portanto, este IPS não proporciona coordenadas geográficas. Para melhorar a precisão do sistema, permite armazenar múltiplas medições de RSSI obtidas em distintos momentos. Usa o método de KNN quanto a amostra de dados é pequena, no caso de uma amostra maior usa o SVM. Foi desenvolvido por ETH Zurich e pode ser usado tanto na plataforma *Android* como *iOS* e sua interface é apresentada na FIGURA 15 (REDPIN-TEAM, 2008; BOLLIGER, 2008);

FIGURA 15 - APLICATIVO REDPIN



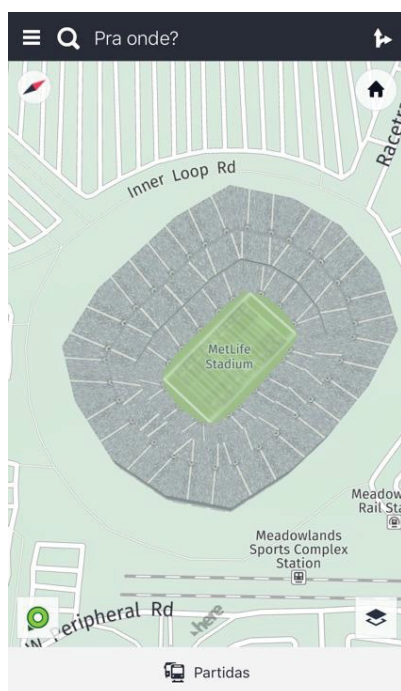
FONTE: REDPIN (2008).

- QUBULUS: usa as tecnologias WIFI e 3G, por meio da técnica de *Fingerprint*. Foi desenvolvido para fins comerciais para a plataforma Android e emprega a base cartográfica do *Google Maps* ou *Bing Maps*. Este tem uma precisão de 3 a 5 metros (KASHEVNIK; SHCHEKOTOV, 2012; TREVISAN; PÉREZ, 2017);
- IWAY: foi criado pela companhia holandesa IWAY e foi destinado para fins comerciais, como aeroportos, museus, supermercados. Neste caso as pessoas que ocupam o espaço interno, como os clientes do supermercado, podem baixar o aplicativo em seu dispositivo móvel, assim, a administração do local poderá fazer análises dos movimentos deles. Usa a técnica *Fingerprint* além da conexão 3G/4G, gerando uma precisão de 1 a 5 metros (KASHEVNIK; SHCHEKOTOV, 2012);
- *Air Place*: é um sistema desenvolvido pela Universidade do Chipre, projetado para a plataforma *Android*. O IPS é baseado na técnica *Fingerprint* com uma precisão de 2 até 4 metros. Nele são armazenados no *Radio map* as coordenadas, os níveis de RSSI e os BSSID dos AP detectados de diferentes pontos, definido pelo usuário a quantidade de mostras que vão ser armazenadas na base de dados e sua posição de

forma gráfica, escolhendo um ponto na tela do aplicativo. Tem implementados os algoritmos KNN e outros para reduzir o ruído nas medições (LAOUDIAS et al, 2012; TREVISAN; PÉREZ, 2017);

- Here WeGo: usa as tecnologias WIFI e *Bluetooth*, no caso da plataforma *Android* encontra-se disponível com as duas tecnologias, mas para *iOS* só pode usar o *Bluetooth*, sua interface é apresentada na FIGURA 16. Tem uma precisão horizontal de 2 a 5 metros e mais de um 95% de detecção do andar. Para ter a precisão proposta pelo fabricante usando a tecnologia WIFI, deve-se ter observações de 5 a 10 AP por cada calcula da posição. No caso, do *Bluetooth* deve ser implantado um transmissor cada 10 metros, para assim conseguir a precisão proposta (HERE, 2018);

FIGURA 16 - APLICATIVO HERE WE GO

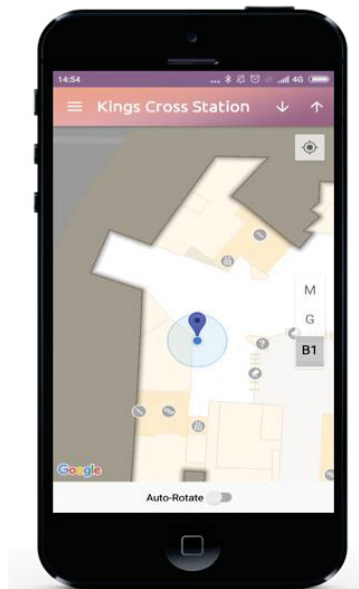


FONTE: HERE (2018).

- PROXIMI.IO: gera o posicionamento tanto no ambiente externo quanto no interno, baseado nas tecnologias *Bluetooth*, WIFI, GPS e GSM. Sua interface encontra-se na FIGURA 17. A precisão em ambientes fechados é de 1 a 2 metros. Este IPS usa a base cartográfica de *Google Maps* e foi

desenvolvido com fins privados, para ser usado em aeroportos, indústrias, entre outros (PROXIMITY PLATFORM, 2018);

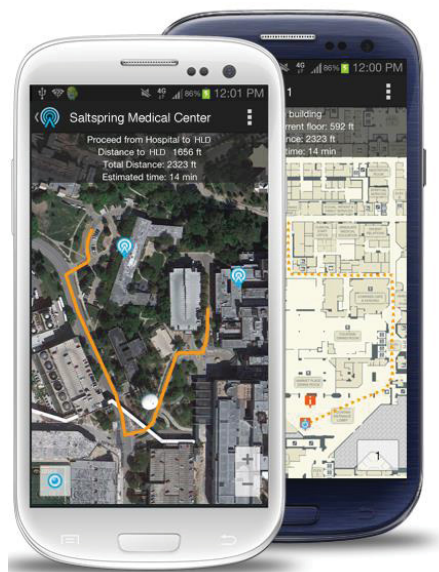
FIGURA 17 - APLICATIVO PROXIMI.IO



FONTE: PROXIMI.IO Proximity Platform (2018).

- WIFARER: este IPS pode usar a tecnologia WIFI ou Bluetooth. Seu design está pensado em sua utilização em dispositivos móveis, sendo empregado nas plataformas *Android* e *iOS*. Sua interface é apresentada na FIGURA 18. Este IPS usa a técnica *Fingerprint* para fazer o posicionamento com uma precisão de 1,3 metros aproximadamente, além de fazer o posicionamento exterior. Este sistema está destinado para fins comerciais, para usuários como pessoas em aeroportos. WIFARER fornece a determinação da posição do usuário, o caminho ao destino que ele escolha, incluindo o tempo e a distância do trajeto, além de fornecer informação adicional, como no caso do aeroporto, informação dos voos (WIFARER, 2016);

FIGURA 18 - APLICATIVO WIFARER



FONTE: WIFARER indoor positioning technologies (2015).

Na TABELA 2 apresenta-se um comparativo dos IPS mencionados anteriormente, detalhado a plataforma na qual foram desenvolvidos, a tecnologia e a técnica empregada, a precisão alcançada e a procedência dos mapas usados.

TABELA 2 - COMPARATIVO DE IPS BASEADOS EM WIFI

(continua)

Nome do sistema	Ano	Plataformas	Tecnologias	Técnica	Precisão (m)	Base cartográfica
RADAR	2000	<i>Windows</i>	WIFI	<i>Fingerprint</i>	2 - 3	<i>Bing Maps</i>
Skyhook	2003	Computadores e <i>smartphones</i> <i>Android</i> e <i>iOS</i>	WIFI, GPS e GSM	Triangulação	10	<i>Mapquest</i>
Horus	2004	Computadores	WIFI	<i>Fingerprint</i>	2 - 3	Projetados por eles
Infsoft	2005	Computadores e <i>smartphones</i>	WIFI, <i>Bluetooth</i> , RFID e UWB	Sem informação	5 - 15	Sem informação
PlaceLab	2005	Computadores e <i>smartphones</i>	WIFI, <i>Bluetooth</i> e GSM	<i>Fingerprint</i>	13 - 30	Projetados por eles
EKAHAU RTLS	2008	Computadores e <i>smartphones</i>	RFID e WIFI	Sem informação	1 - 3	Projetados por eles
Redpin	2008	Computadores <i>smartphones</i> <i>Android</i> e <i>iOS</i>	WIFI, <i>Bluetooth</i> e GSM	<i>Fingerprint</i>	≈ 2	Projetados por eles

TABELA 2 - COMPARATIVO DE IPS BASEADOS EM WIFI

(conclusão)

Nome do sistema	Ano	Plataformas	Tecnologias	Técnica	Precisão (m)	Base cartográfica
Qubulus	2010	Computadores e <i>smartphones</i> <i>Android</i>	WIFI e 3G	<i>Fingerprint</i>	3 - 5	<i>Google Maps</i> e <i>Bing Maps</i>
IWAY	2012	Computadores, <i>smartphones</i> <i>Android</i>	WIFI e 3G/4G	<i>Fingerprint</i>	1 - 5	<i>Google Maps</i>
Air Place	2012	<i>Smartphones</i> <i>Android</i>	WIFI	<i>Fingerprint</i>	2 - 4	Projetados por eles
Here WeGo	2013	Computadores, <i>smartphones</i> <i>Android</i> e iOS	WIFI e <i>Bluetooth</i>	Sem informação	2 - 5	Projetados por eles
Proximi.io	2015	Computadores e <i>smartphones</i> <i>Android</i> e iOS	WIFI, <i>Bluetooth</i> , GPS e GSM	Sem informação	1 - 2	<i>Google Maps</i>
WIFARER	2016	Computadores, <i>smartphones</i> <i>Android</i> e iOS	WIFI e <i>Bluetooth</i>	<i>Fingerprint</i>	≈ 1	<i>Google Maps</i>

FONTE: Compilado pela autora (2018)

Redpin, Air Place, PlaceLab e Horus correspondem a sistemas de código aberto e foram desenvolvidos por áreas de pesquisa de universidades. Na TABELA 2 é possível ver que a maioria usa a técnica *Fingerprint*, no caso de Ekahau RTLS, Infsoft, Proximi.io, Here WeGo, por serem sistemas privados, não foi possível encontrar informação com respeito à técnica empregada neles.

Em relação as pesquisas desenvolvidas sobre a tecnologia WIFI tem-se as seguintes:

- Ocaña et al (2005): nesta pesquisa foi desenvolvido um sistema de posicionamento para robôs em ambiente interno mediante a utilização da tecnologia WIFI, usando a técnica *Fingerprint*. Eles usaram esta técnica com a finalidade de diminuir a incerteza no posicionamento, produto da variação da intensidade no ambiente interno, em função da estrutura do espaço. No primeiro teste foram usados pontos aleatórios para a determinação da posição na fase online, obtendo uma acurácia entorno dos 3 metros. No segundo teste, usaram os mesmos da fase de treinamento, gerando um 92,53% de localizações corretas. Os testes foram em modo estático e cinemático. Os locais para os testes foram dos corredores da área de estudo.

- Bose e Foh (2007): nesta pesquisa foi determinada a acurácia da técnica de trileração em um corredor, por meio de um dispositivo móvel, tendo linha de visada a 3 roteadores e sem ela, obtendo como resultados 2,3 e 2,9 metros respectivamente.
- Honkavirta et al (2009): foi desenvolvida uma pesquisa com a técnica *Fingerprint*, fazendo a determinação da posição estática no ambiente interno por métodos determinísticos e probabilísticos, e a utilização de filtros de Kalman e bayesianos. Obtendo como o melhor método de posicionamento o probabilístico. A área de estudo escolhida foi umas oficinas na *University of Technology*, Tampere, Finlândia. Foram gerados dois *Radio map*, o primeiro com intervalos de medição de 30 segundos e o segundo com intervalos de 60 segundos, usando 20 APs, com 11 deles no mesmo andar do corredor, foram armazenados dados para pontos no centro das células (salas). Foram detectados pelo dispositivo na fase online 9 APs em média por posição com intervalos de tempo de 1 segundo. A acurácia obtida foi entre 6 metros, de acordo com os diferentes métodos matemáticos usados.
- Avallone e Capdehourat (2010): calcularam a posição com a utilização das redes WIFI, quando estas se encontrassem afetadas às outras redes na mesma área de estudo, usaram a técnica *Fingerprint*. A área de estudo foi o prédio chamado “*Liceo 7*”, onde encontram-se 6 APs, localizados entre os três andares do prédio, A determinação da posição foi feita estática e cinematicamente obtendo uma acurácia entre 1 a 8 metros. Foram feitos cálculos diminuindo o número de APs por ponto, concluindo que os diferentes métodos matemáticos têm dificuldades quando é eliminado o AP mais relevante para a estimação da posição.
- Gansemer, Großmann e Hakobyan (2010): foram desenvolvidos algoritmos baseados no RSSI e a distância euclidiana, usando a técnica *Fingerprint*. A área de estudo foi um prédio com 3 andares, gerando um *Radio map* de 1 por 1 metro. Eles obtiveram uma acurácia de aproximadamente 2 a 3 metros no caso do posicionamento em duas dimensões, no caso do eixo Z, foi obtido corretamente em um 99,44% dos testes.

- Lladós et al. (2011): Foram pesquisados os fatores que interferem no RSSI, em um ambiente controlado. A área de estudo foi o segundo andar do prédio *da Escuela Politécnica Superior da Universidad de Lleida*. Os fatores que concluíram que influem no RSSI são: a variação da altura do AP, as atenuações pelos meios de propagação no ambiente interno, a presença de pessoas, já que o corpo humano absorve a intensidade WIFI. Além disso, eles concluíram que ocorre uma melhoria na determinação da posição, quando na fase de treinamento do *Fingerprint* são armazenadas as medições no centro e os extremos da sala, obtendo uma acurácia de 2 metros para o posicionamento estático.
- Marques, Meneses e Moreira (2012): desenvolveram um algoritmo baseado na técnica do *Fingerprint*, no qual eles determinaram a identificação do prédio, o andar, a sala, e a posição geométrica do dispositivo (*notebook*). A área de estudo escolhida foram 2 prédios cada um com 3 andares, da Universidade do Minho. O *Radio map* foi gerado com 3 alturas diferentes do dispositivo e em 3 posições diferentes no centro da célula (sala), para assim melhorar a determinação do andar. Eles fizeram uma comparativa entre as distâncias Euclidiana, Manhattan e Tanimoto, concluindo que a distância Manhattan funciona melhor em ambientes interno. A acurácia obtida foi de 3 metros aproximadamente. Além disso, eles concluíram que um *Radio map* com uma maior quantidade de pontos armazenados gera um maior custo computacional.
- Kornuta, Acosta e Toloza (2013): A área de estudo foi uma sala, no *Instituto de Investigación INTIA/INCA da Universidad Nacional del Centro de Provincia de Buenos Aires*. O Radio Map desenvolvido foi de 90 por 90 centímetros, com um intervalo de medição de 180 segundos. Eles fizeram análises com respeito a variação da intensidade de cada AP no tempo. A acurácia obtida, baseada na técnica *Fingerprint*, foi de 2 a 4 metros.
- Mok e Cheung (2013): Desenvolveram um algoritmo para o posicionamento em ambiente interno, usando a técnica *Fingerprint* e baseado em redes neurais. A área de estudo foi um andar de um prédio do campus da *Polytechnic University* de Hong Kong composta por 14 APs.

Em cada sala foram armazenados até 5 pontos na fase de treinamento, obtendo uma acurácia de 1 a 4 metros.

- Boonsriwai e Apavatjirut (2013): Foram pesquisadas a técnica do *Fingerprint* e a Trilateração, os testes foram desenvolvidos em um *smartphone*, cuja área de estudo foi um andar de um prédio do campus da *Chaing Mai University*. O *Radio map* foi de 2 por 2 metros, e foram analisados até 9 APs. Eles concluíram que:
 - *Fingerprint*: uma maior quantidade de pontos na fase de treinamento gera uma melhor determinação da posição, mas um aumento no custo computacional. Além disso, que nessa técnica devem ser usados até 4 AP, em cada fase, já que uma maior quantidade gera uma imprecisão na determinação da posição. Devido ao custo computacional relacionado à base de dados necessária, eles determinaram que esta técnica não é apta para a utilização em tempo real, já que fornece posições a cada 40 segundos.
 - Trilateração: eles concluíram que foi difícil de obter a posição em razão da instabilidade do sinal WIFI e que quando são detectados 3 APs é possível ter uma melhora na precisão, que uma quantidade maior de APs.
 - Em ambas técnicas, eles concluíram que uma amostra de APs maior gera uma diminuição na precisão do sistema.
- Torres-Sospedra et al. (2014): fizeram uma comparação entre a tecnologia WIFI e do campo magnético, empregadas no posicionamento interno. A área de estudo foi uma sala da oficina do *Geospatial Technologies Research Group's* do campus da *Universitat Jaume I*, composta por 6 APs. Os testes foram feitos com um *smartphone*, e concluíram, que diminuindo o número de APs tem-se uma melhora na precisão e que a intensidade diminui com a presença de pessoas. Eles obtiveram uma acurácia de 5 metros no caso da tecnologia WIFI.
- Conte (2015): foi desenvolvido um IPS com base na técnica *Fingerprint*, com a utilização de Filtros de Kalman e a utilização do histórico de movimentação no caso da primeira tecnologia. As áreas de estudo foram:

um prédio empresarial, localizado no Sapiens Parque em Florianópolis, que continha 2 andares e 11 Aps, e a segunda foi o segundo piso no shopping center Floripa Shopping. Os testes foram feitos tanto em estático como em cinemático, com um sensor WIFI dentro de uma caixa, chamado Crachá WIFI, cujos dados foram enviados a um notebook para ser apresentados em um mapa.

- Trevisan e Pérez (2017): Eles pesquisaram a variação na estimação da posição com respeito a presença de pessoas no ambiente interno, no caso da utilização da tecnologia WIFI com a técnica *Fingerprint* e do Campo Magnético. Os testes foram desenvolvidos com um *smartphone*, usando dos sistemas já desenvolvidos, no caso do WIFI foi usado o *Airplace* e para o Campo Magnético foi o *Compass Master*. A área de estudo foi a praça de alimentação do *Shopping del Sol*, Paraguai. Foram gerados dois *Radio Map*, em diferentes horários e com diferente quantidade de pessoas presentes, sendo armazenados dados em 9 dias. Para a determinação da posição por WIFI foi usado o algoritmo baseado em *KNN*, variando o parâmetro *k*, obtendo como acurácia 3 metros aproximadamente.
- Sakr e El-Sheimy (2017): foi desenvolvido um algoritmo baseado na técnica *Fingerprint*, com a utilização de modelos de Processo Gaussiano, o algoritmo chamado "*Parametric Grid Sparse GP*". A área de estudo foi o prédio CCIT da *University of Calgary*, Canada. A acurácia obtida foi de 1 a 2 metros.
- Dos Santos (2017): foi apresentada uma proposta para a implementação da técnica *Fingerprint* para o posicionamento em duas dimensões, para o UFPR CampusMap. A área de estudo foi um corredor do Bloco VI do campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. A coleta dos RSSI foi feita pelo *software WifinInfoView*, sendo feitos 4 ciclos de medição, o *Radio map* foi de 70 por 70 centímetros, sendo armazenada a média aritmética das intensidades nos diferentes pontos, os dados foram interpolados gerando um *Radio map* de 20 por 20 centímetros. O algoritmo proposto foi baseado em *KNN*, a acurácia obtida para o posicionamento cinemático foi de aproximadamente 3 metrosNa TABELA

3 é possível ver que a maioria das pesquisas na área são desenvolvidas com base na técnica *Fingerprint*, e encontram-se orientadas na comparação dos diferentes algoritmos com a finalidade de melhorar a precisão. Nenhuma das pesquisas mencionadas fez estudos sobre a navegação do usuário no ambiente com o auxílio do sistema.

TABELA 3 - PESQUISAS FEITAS EM POSICIONAMENTO PELA TECNOLOGIA WIFI

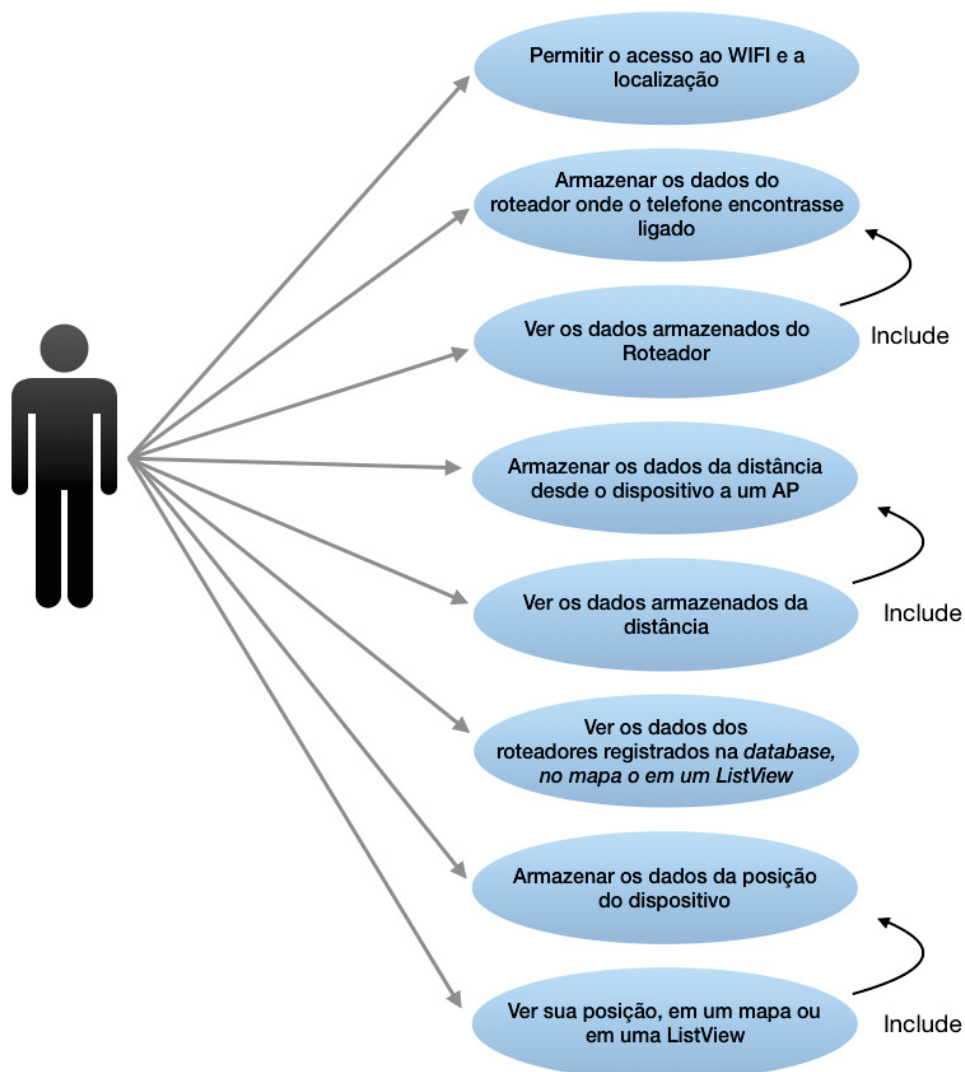
Autores	Ano	Local	Técnica	Acurácia (m)	Uso de mapas	Tempo Real
Ocaña et al.	2005	Corredor	<i>Fingerprint</i>	≈ 3	Não	Não
Bose e Foh	2007	Corredor	Trilateração	≈ 3	Não	Não
Honkavirta et al.	2009	Andar	<i>Fingerprint</i>	≈ 6	Planta	Não
Avallone e Capdehourat	2010	Prédio	<i>Fingerprint</i>	1 - 8	Planta	Não
Gansemer, Großmann e Hakobyan	2010	Prédio	<i>Fingerprint</i>	≈ 2 - 3	Planta	Não
Llados et al.	2011	Planta de um prédio	<i>Fingerprint</i>	2	Planta	Não
Marques, Meneses e Moreira	2012	Múltiplos prédios	<i>Fingerprint</i>	≈ 3	Não	Não
Kornuta, Acosta e Toloza	2013	Sala	<i>Fingerprint</i>	≈ 2 - 4	Não	Não
Mok e Cheung	2013	Planta de um prédio	<i>Fingerprint</i>	1- 4	Planta	Não
Boonsriwai e Apavatjirut	2013	Andar	<i>Fingerprint</i> e trilateração	≈ 3 e 6	Planta	Sim
Torres-Sospedra et al.	2014	Sala	<i>Fingerprint</i>	5	Sim	Sim
Conte	2015	Prédio e andar de um Shopping center	<i>Fingerprint</i>	2 - 6	Planta	Sim
Trevisan e Pérez	2017	Praça de alimentação de um shopping	<i>Fingerprint</i>	3	Planta	Não
Sakr e El-Sheimy	2017	Prédio	<i>Fingerprint</i>	1-2	Sim	Sim
Dos Santos	2017	Corredor	<i>Fingerprint</i>	≈ 3	Não	Não

FONTE: Compilado pela autora (2018)

3 METODOLOGIA

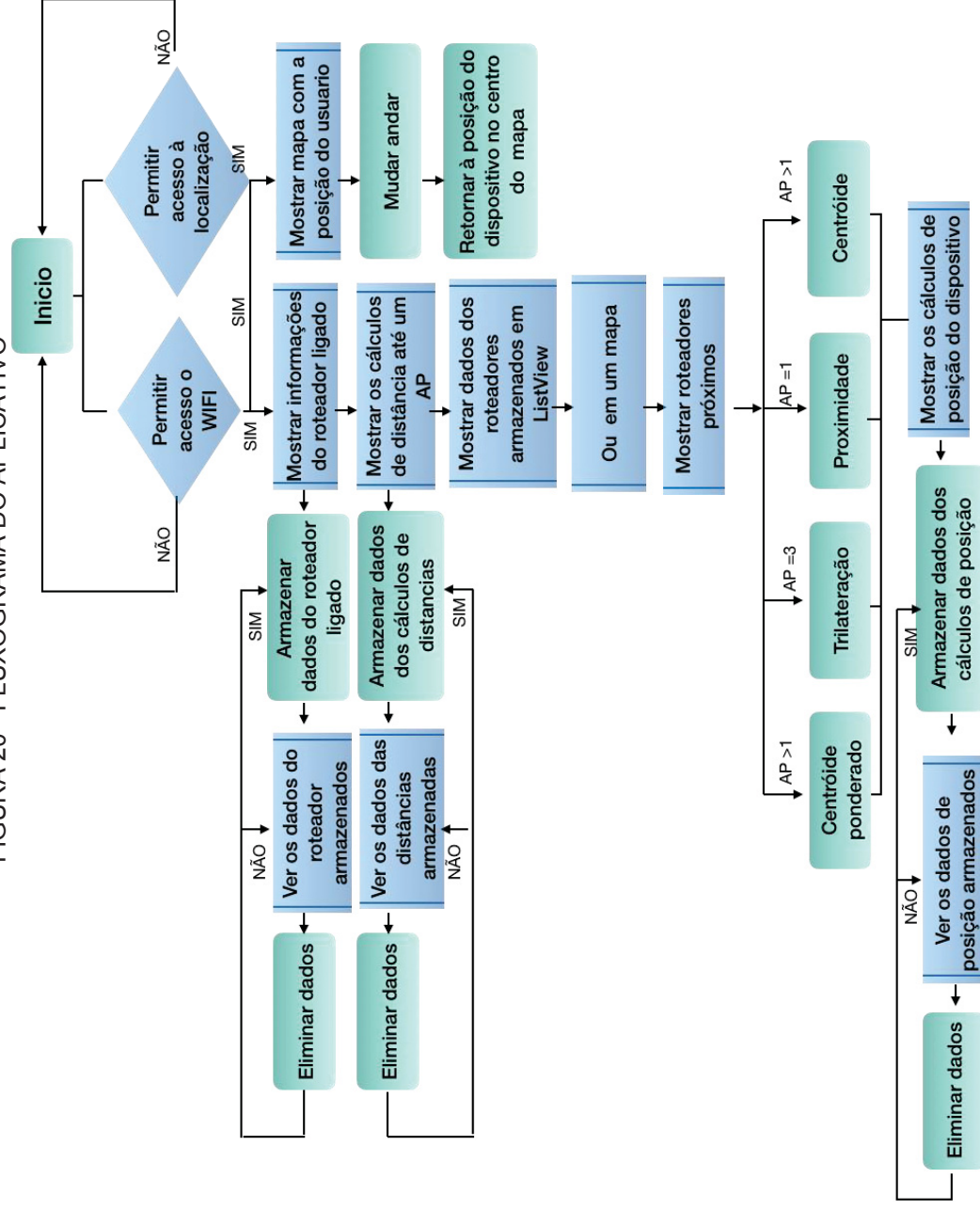
Nesta pesquisa procura-se o desenvolvimento de uma solução para posicionamento interno por meio das redes WIFI, no contexto do UFPR CampusMap. Assim, primeiro foram descritas as atividades que o usuário poderia fazer ao usar o aplicativo, apresentadas na FIGURA 19. A partir destas, foi realizado o fluxograma do aplicativo (FIGURA 20) onde são apresentas as alternativas de decisões que o usuário pode executar quando usa o aplicativo, e a sua arquitetura (FIGURA 21), mostrando a interação do usuário com os componentes do aplicativo.

FIGURA 19 - DIAGRAMA DE CASO DE USO



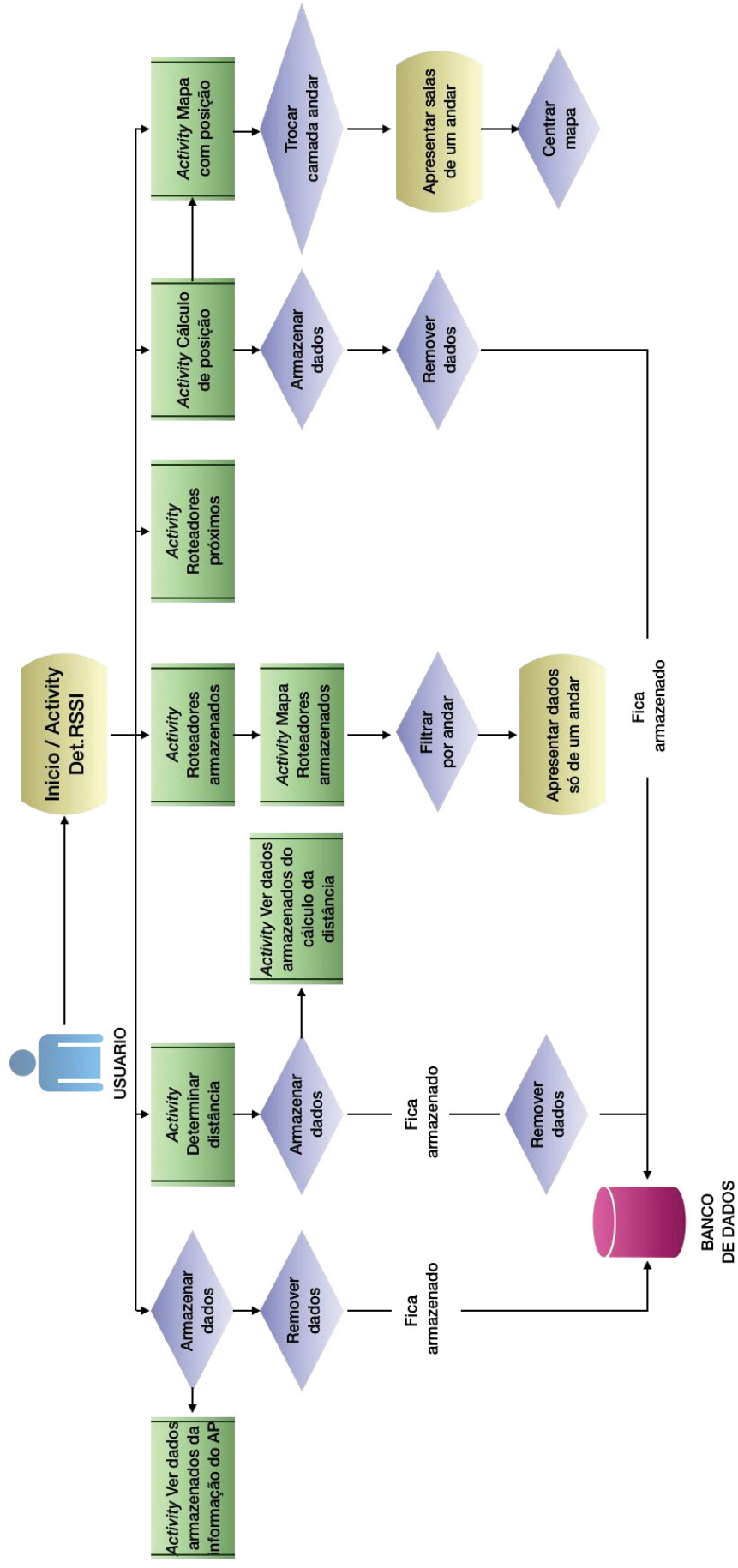
FONTE: A autora (2018)

FIGURA 20 - FLUXOGRAMA DO APLICATIVO



FONTE: A autora (2018)

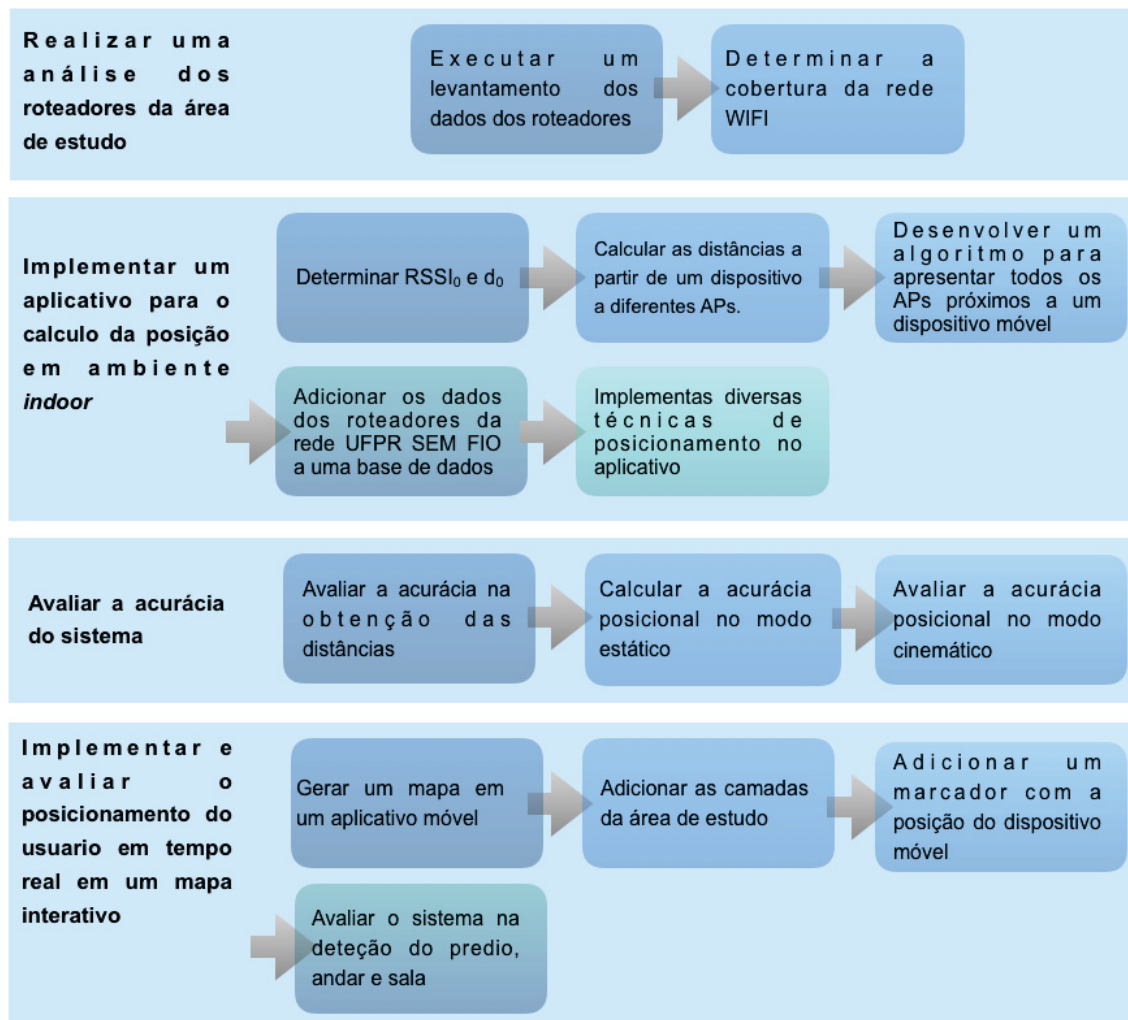
FIGURA 21 - ARQUITETURA DO APLICATIVO



FONTE: A autora (2018)

Com base no diagrama de casos de usos e nos objetivos propostos, foram desenvolvidas as seguintes etapas (FIGURA 22).

FIGURA 22 - ETAPAS DA PESQUISA

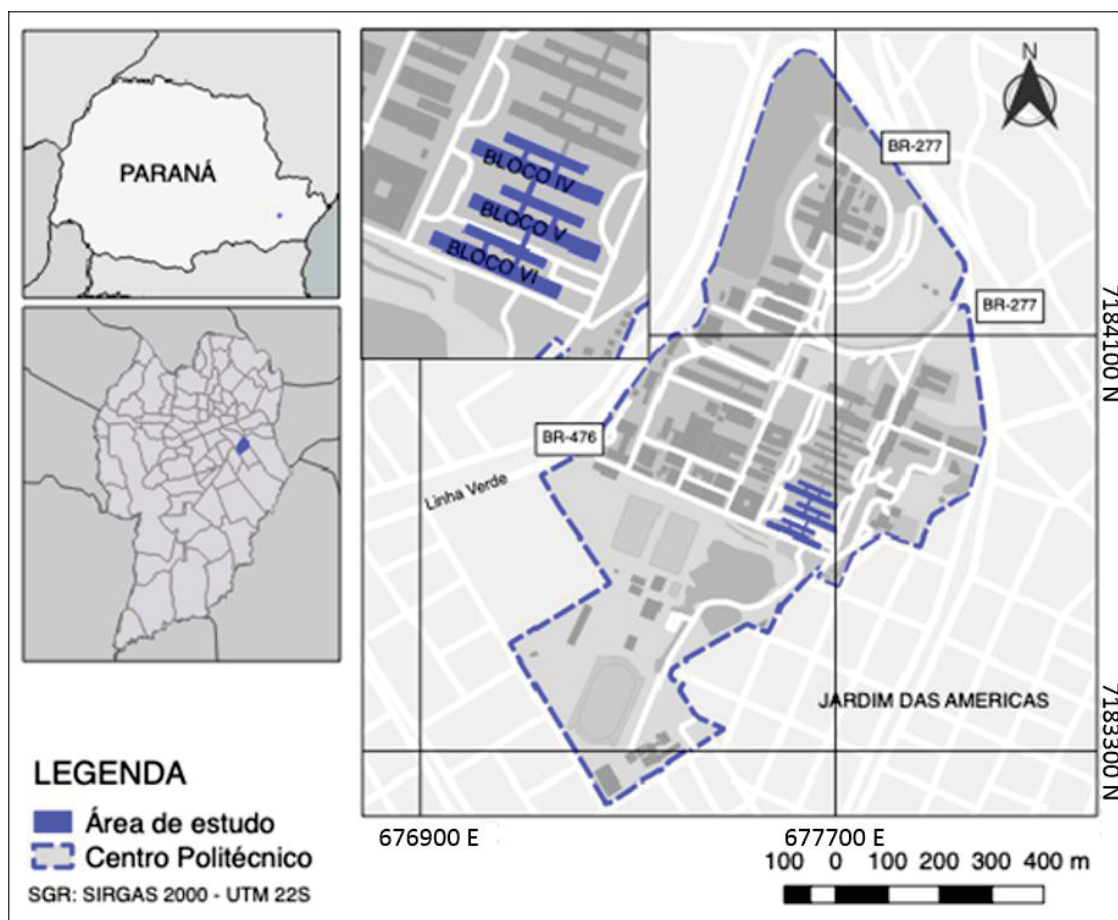


FONTE: A autora (2018)

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo desta pesquisa está localizada no Centro Politécnico, Campus III da Universidade Federal do Paraná, bairro Jardim das Américas, Curitiba, Brasil, apresentada na FIGURA 23.

FIGURA 23 - AREA DE ESTUDO



FONTE: A autora (2018)

A área de estudo está composta por 3 blocos (numerados como IV, V e VI), que contém 2 andares com 194 salas. Esta área foi escolhida para esta pesquisa devido a sua infraestrutura, já que contém diversidade de ambientes como: salas de aula (SA), salas de professores (SP), secretarias, laboratórios (como LABFOTO, LAIG II e LARAS), banheiros, entre outros (FIGURA 24), além disso, tem implantada uma rede de roteadores WIFI chamada “UFPR SEM FIO”.

3.2 MATERIAIS

Os materiais que foram usados na realização desta pesquisa são os seguintes, apresentados na TABELA 4:

TABELA 4 - MATERIAIS

Material	Especificações	Utilidade
Computador MacBook Air 13	Processador: 1,8 GHz Intel Core I5 Memória RAM: 8 Gb	Desenvolvimento da programação no Android Studio e execução dos mapas.
Smartphone Huawei P9 Lite	Versão do <i>android</i> : 6.0 <i>Marshmallow</i> 2 processadores: <ul style="list-style-type: none"> • 1: 2Ghz Quad-Core ARM Cortex-A53 • 2: 1.7Ghz Quad-Core ARM Cortex-A53 Memória RAM: 3 Gb	Desenvolvimento dos testes
Smartphone Samsung GT-I9192	Versão do <i>android</i> : 4.4 <i>Jelly Bean</i> Processador: 1.7Ghz Dual-Core Krait 300 Memória RAM: 1,5 Gb	Desenvolvimento dos testes
Androd Studio	v.3.1.2	Desenvolvimento do aplicativo para o posicionamento interno
Autocad	v. 2018	Com base no levantamento, foi usado o software para visualizar as localizações dos roteadores WIFI
QGIS Desktop	v.2.18	Geração dos mapas da área de estudo, roteadores, e as camadas usadas posteriormente no aplicativo
Mapbox Android Map	Sdk v.6.1.1	Utilizado para adicionar o mapa ao aplicativo desenvolvido
Mapbox Studio		Execução da base cartográfica do aplicativo
Roteadores WIFI CISCO AIR-SAP1602ITK9	Frequência: 2.4 GHz ~ 5 GHz Potência de transmissão: 17 ~ 22 dBm	Elementos usados para realizar o posicionamento interno
Trena laser Leica	Precisão $\pm 1,0$ mm	Realização do levantamento dos roteadores com base nas distâncias à estrutura do ambiente (paredes)
Base cartográfica da Universidade Federal do Paraná	Armazenada na <i>database</i> chamada "ufpr_indoor".	Auxílio na obtenção das coordenadas planas.
DB Browser for SQLite		Extrair os dados da <i>database</i>
WifiAnalyzer	v.2.0.2	Verificação da rede WIFI no momento da aquisição dos dados dos roteadores

FONTE: A autora (2018)

3.3 ANÁLISE DOS ROTEADORES DA AREA DE ESTUDO

Baseado no cumprimento do primeiro objetivo, foi realizado o cadastro dos roteadores e verificado o alcance da rede WIFI em toda a dimensão da área de estudo. Para tal, foram feitas as seguintes etapas:

3.3.1 Executar um levantamento dos dados dos roteadores

Como foi mencionado anteriormente, a área de estudo apresenta uma rede de roteadores fixos chamada “UFPR SEM FIO”, sua base cartográfica está disponível e além disso, dispõe de redes WIFI dos laboratórios. Deste modo foi importante fazer o levantamento dos dados para assegurar a pertinência dos roteadores à rede. Os roteadores da rede encontravam-se implantados no teto dos diferentes corredores, como é apresentado na FIGURA 26.

FIGURA 26 - ROTEADOR “50:BB:C0:F9:58:FF”

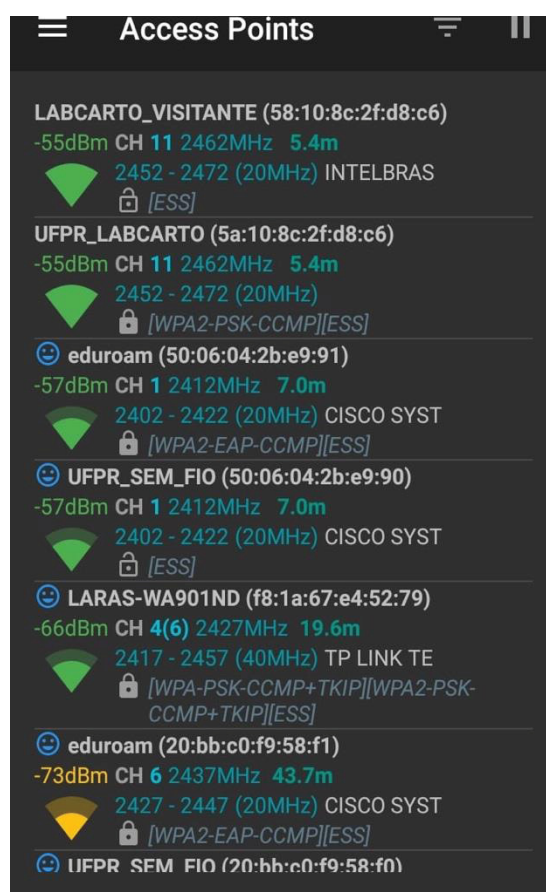


FONTE: A autora (2018)

Os dados registrados para cada um dos roteadores foram: SSID, BSSID, andar e bloco. No caso do SSID e BSSID foi usado o aplicativo *WifiAnalyzer*,

desenvolvido para a plataforma *Android* com a finalidade de otimizar redes WIFI, permitindo identificar os APs, classificando-os e determinando a distância desde o dispositivo a eles, entre outras funcionalidades (WIFIANALYZER, 2018). Um exemplo dos registros deste aplicativo encontra-se na FIGURA 27, onde é apresentado no primeiro registro da lista o nome da rede (LABCARTO_VISITANTE), depois o BSSID (58:10:8c:2f:d8:c6), posteriormente o RSSI (-55dBm) e depois o canal de transmissão (11), frequência (2462 MHz) e a distância (5.4 m).

FIGURA 27 - APLICATIVO WIIFIANALYZER



FONTE: WifiAnalyzer (2018)

Para conseguir determinar as coordenadas de cada um dos roteadores, foi necessário fazer um levantamento em campo com a utilização de uma trena eletrônica. O levantamento das distâncias foi feito considerando como referência as paredes da edificação, pois são feições bem definidas na base cartográfica do local, o que ajudou posteriormente na obtenção das coordenadas no *software* Autocad.

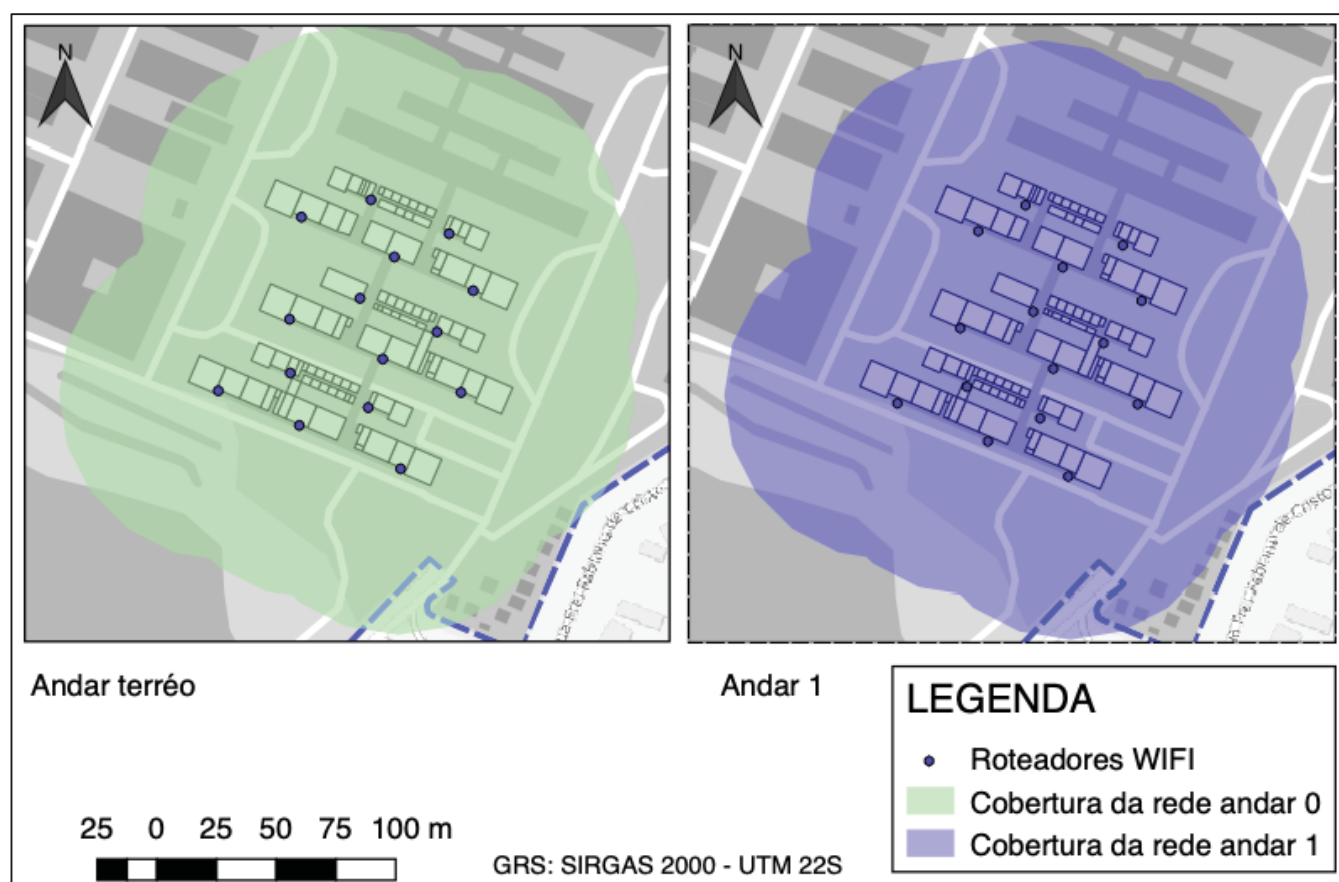
Posteriormente, no QGIS foi feita a união dos dados coletados no *Autocad* (coordenadas) e os dados de identificação de cada roteador (SSID, BSSID, andar e bloco).

3.3.2 Determinar a cobertura da rede WIFI

De acordo com as especificações técnicas dos roteadores (modelo: CISCO AIR-SAP1602I-T-K9) o padrão de transmissão de dados corresponde ao 802.11n (CISCO, 2018). O padrão corresponde as especificações que determinam as características de uma rede de área local sem fio, como frequência empregada, velocidade, entre outros (CCM BECHMARK, 2008).

Segundo Andrews (2013) para este padrão de transmissão a cobertura teórica em um ambiente interno é de 70 metros. Então com base nisso, foi gerado um mapa de cobertura da rede.

FIGURA 28 - COBERTURA DA REDE WIFI



FONTE: A autora (2018)

Porém, é importante destacar que este é um valor teórico e não é necessariamente o que acontece na realidade, já que como mencionado na revisão de literatura, o sinal WIFI encontra-se afeto a variações pela estrutura do espaço, condições atmosféricas, presença das pessoas e a interferência de outros sinais de rádio.

3.4 IMPLEMENTAR DE UM APLICATIVO PARA O CÁLCULO DA POSIÇÃO EM AMBIENTE INTERNO

De acordo com a realização do segundo objetivo, foram feitas as seguintes etapas:

3.4.1 Determinar RSSI₀ e d₀

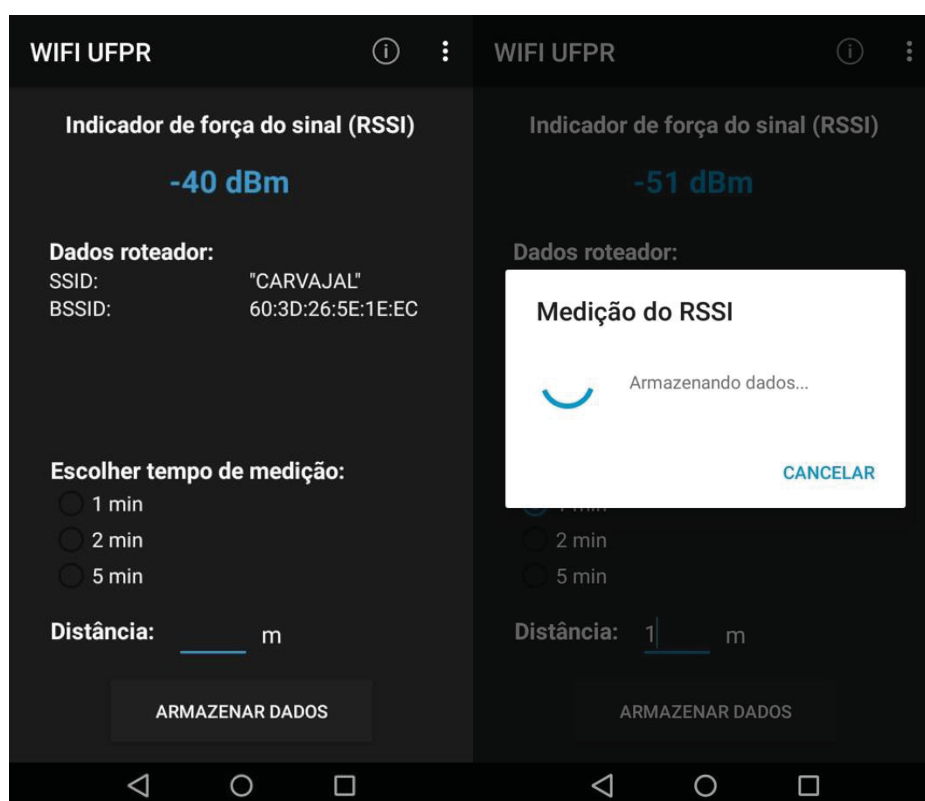
Segundo à formulação da atenuação do sinal no trajeto percorrido (EQUAÇÃO 5), para obter a distância entre o AP e um dispositivo móvel (r_n), é necessário conhecer um RSSI mensurado na posição do objeto (P_r), um RSSI mensurado a uma distância fixa (P_0 e d_0), os fatores de atenuação do sinal no trajeto (α) e de atenuação pelos materiais onde desloca-se o sinal (ε_r).

Nesta pesquisa considerou-se o deslocamento do sinal no vácuo, já que não se tinha um modelo diferente de perda do sinal, sendo fixados os valores de $\varepsilon_r = 0$ (dBm) e $\alpha = 2$. Com base nisto, a distância (r_n) foi determinada de acordo com a EQUAÇÃO 12.

$$r_n = d_0 \cdot 10^{\frac{P_r - P_0}{20}} \quad (12)$$

Para obter os valores de P_0 e d_0 , foi desenvolvido um aplicativo para um *smartphone* no software *Android Studio*. Assim, quando o *smartphone* estivesse conectado com um roteador, o aplicativo determinaria o SSID, BSSID e RSSI, e o usuário poderia inserir a distância do dispositivo ao roteador. A interface da “Rotina”, que corresponde a uma tela do aplicativo, está na FIGURA 29.

FIGURA 29 - PRIMEIRA ROTINA



FONTE: A autora (2018)

Para otimizar o processo foi gerada uma *database* no *smartphone*, com a finalidade de armazenar estes dados para serem utilizados posteriormente, evitando erros na transcrição manual, sendo registrado o tempo de aquisição, o RSSI, BSSID e a distância. O resultado desta rotina está apresentado na FIGURA 30.

FIGURA 30 - *DISPLAY* DADOS RSSI


Medidas RSSI armazenadas	
Tempo:	2018-11-27 02:02:17
RSSI:	-52 dBm
BSSID:	50:06:04:2b:e9:90
Distance:	1 (m)
Tempo:	2018-11-27 02:02:17
RSSI:	-52 dBm
BSSID:	50:06:04:2b:e9:90
Distance:	1 (m)
Tempo:	2018-11-27 02:02:16
RSSI:	-52 dBm
BSSID:	50:06:04:2b:e9:90
Distance:	1 (m)
Tempo:	2018-11-27 02:02:16
RSSI:	-52 dBm
BSSID:	50:06:04:2b:e9:90
Distance:	1 (m)
Tempo:	2018-11-27 02:02:15
RSSI:	-52 dBm
BSSID:	50:06:04:2b:e9:90
Distance:	1 (m)
Tempo:	2018-11-27 02:02:15
RSSI:	-52 dBm
BSSID:	50:06:04:2b:e9:90
Distance:	1 (m)
Tempo:	2018-11-27 02:02:14

FONTE: A autora (2018)

O teste foi realizado por meio de uma medida de distância com a trena, que foi inserida no aplicativo e permitiu medir o RSSI. Para estes dados, foi calculado o RSSI médio e o desvio padrão amostral dos dados, com a finalidade de analisar o comportamento da intensidade.

De acordo com Ghilani e Wolf (2014) as formulações para a média aritmética (EQUAÇÃO 13) e o desvio padrão amostral (EQUAÇÃO 14) para uma amostra são as seguintes:

$$\overline{RSSI} = \frac{\sum RSSI}{n} \quad (13)$$

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum RSSI_i - \overline{RSSI}}{n - 1}} \quad (14)$$

Onde:

n : número de observações;

3.4.2 Calcular as distâncias a partir de um dispositivo móvel a diferentes APs

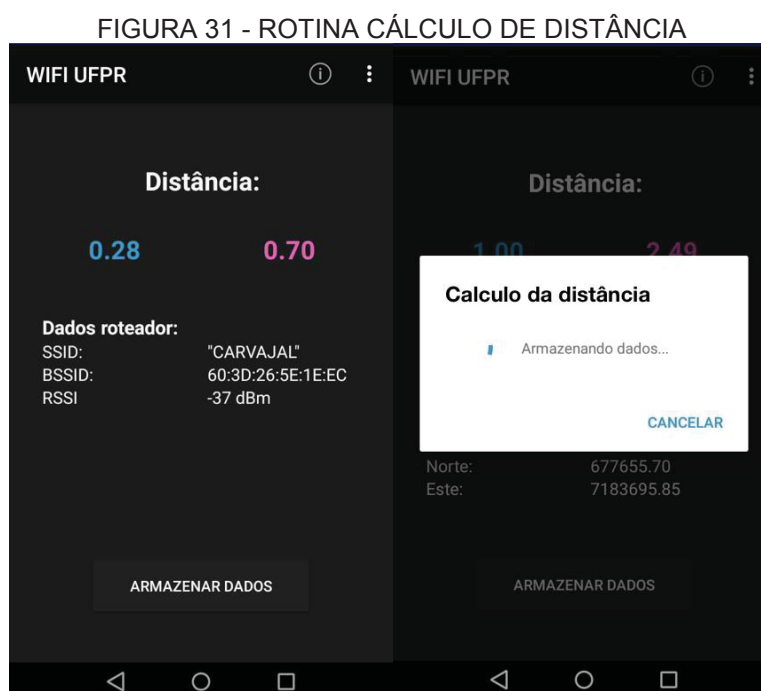
Esta etapa contemplou a geração de uma rotina que permitisse fazer o cálculo da distância e armazenasse os dados no *smartphone*. Foi usada a EQUAÇÃO 12 com os parâmetros estabelecidos como $RSSI_0 = -48$ (dBm) e $d_0 = 1$ (m).

A escolha destes parâmetros foi de acordo ao proposto nas pesquisas de Andersen, Rappaport e Yoshida (1995) e Chrysikos, Georgopoulos e Kotsopoulos (2009) os quais fixam a distância padrão em 1 (m) segundo a perda do sinal no espaço livre para uma frequência de 2,4 (Ghz) que corresponde à empregada na transmissão do sinal WIFI da rede UFPR SEM FIO.

Além disso, foi feita a determinação da distância por meio da EQUAÇÃO 11 com $\alpha=2$, considerando a propagação do sinal no vácuo. Com base nisto, a distância (r_n) ficou determinada de acordo com a EQUAÇÃO 15.

$$r_n = 10^{\frac{P_r - 27,56 - 20 \cdot \log(f)}{20}} \quad (15)$$

A *Activity* foi a seguinte:



FONTE: A autora (2018)

A *Activity* para o display de dados, no cálculo de distância foi a seguinte, onde a “*distancia formula 1*” corresponde à EQUAÇÃO 12 e a “*distancia formula 2*” é a EQUAÇÃO 15:

FIGURA 32 - ROTINA *DISPLAY* DISTÂNCIA

WIFI UFPR	
Distâncias calculadas armazenadas	
Tiempo:	2018-11-18 08:34:40
Distancia formula 1:	0.4466836 (m)
Distancia formula 2:	1.1107663 (m)
RSSI:	-41 dBm
Tiempo:	2018-11-18 08:34:39
Distancia formula 1:	0.4466836 (m)
Distancia formula 2:	1.1107663 (m)
RSSI:	-41 dBm
Tiempo:	2018-11-18 08:34:39
Distancia formula 1:	0.4466836 (m)
Distancia formula 2:	1.1107663 (m)
RSSI:	-41 dBm
Tiempo:	2018-11-18 08:34:38
Distancia formula 1:	0.4466836 (m)
Distancia formula 2:	1.1107663 (m)
RSSI:	-41 dBm
Tiempo:	2018-11-18 08:34:38
Distancia formula 1:	0.4466836 (m)
Distancia formula 2:	1.1107663 (m)
RSSI:	-41 dBm
Tiempo:	2018-11-18 08:34:37
Distancia formula 1:	0.4466836 (m)
Distancia formula 2:	1.1107663 (m)
RSSI:	-41 dBm
Tiempo:	2018-11-18 08:34:37

FONTE: A autora (2018)

3.4.3 Desenvolver um algoritmo para apresentar todos os APs próximos a um dispositivo móvel

O algoritmo desenvolvido está apresentado abaixo e a rotina para esta etapa encontra-se na FIGURA 33.

Algoritmo1 : Pseudocódigo do algoritmo da lista dos AP próximos ao dispositivo

Entrada: *ArrayList* de Scan redes WIFI (SSID, BSSID, Frequência, RSSI)

Saída: *ListView* de AP próximos

Variáveis: WIFIManager

int Quantidade_wifi = 0

1 início

```

2   if (WIFIManager.isWIFIEabled( ) )
3       Quantidade_wifi = ArrayList.size( )
4       Ordem crescente dos elementos do ArrayList
5       Extração de cada elemento do ArrayList
6       Associação de cada elemento com seu TextView respectivo
7   else
8       Print "Você tem que ligar o WIFI para usar o aplicativo, quer ligar o WIFI?"
9   end
10  return ListView com APs próximos ao dispositivo
11 end
  
```

FIGURA 33 - ROTINA *DISPLAY* ROTEADORES PRÓXIMOS



FONTE: A autora (2018)

3.4.4 Adicionar os dados dos roteadores da rede UFPR SEM FIO a uma base de dados

Os dados das coordenadas, SSID, BSSID, prédio e andar (TABELA 5) foram adicionados ao banco de dados do dispositivo.

TABELA 5 - DADOS ROTEADORES REDE UFPR SEM FIO

id	SSID	andar	BSSID	prédio	E (m)	N (m)
1	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:E7:40	VI	677.654,73	7.183.696,23
2	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:E6:60	VI	677.582,47	7.183.727,16
3	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:DE:90	VI	677.620,76	7.183.711,10
4	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:E8:00	V	677.684,11	7.183.726,80
5	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:D7:50	V	677.648,40	7.183.741,79
6	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:ED:D0	V	677.609,10	7.183.758,93
7	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:DD:F0	V	677.639,93	7.183.765,96
8	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:E9:A0	IV	677.685,76	7.183.770,53
9	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:DC:A0	IV	677.616,68	7.183.800,00
10	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:ED:A0	IV	677.652,44	7.183.784,72
11	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:EB:90	IV	677.677,80	7.183.794,01
12	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:DC:00	IV	677.636,66	7.183.810,95
13	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:ED:D2	VI	677.611,90	7.183.734,16
14	UFPR_SEM_FIO	0	50:06:04:2B:E0:70	VI	677.642,82	7.183.720,84
15	UFPR_SEM_FIO	0	70:10:5C:7D:03:00	V	677.669,67	7.183.752,66
16	UFPR_SEM_FIO	1	20:BB:C0:F9:58:FF	VI	677.613,21	7.183.714,03
17	UFPR_SEM_FIO	1	50:06:04:2B:E7:20	VI	677.579,23	7.183.728,56
18	UFPR_SEM_FIO	1	50:06:04:2B:E9:90	VI	677.655,70	7.183.695,85
19	UFPR_SEM_FIO	1	50:06:04:2B:E8:E0	VI	677.642,09	7.183.721,51
20	UFPR_SEM_FIO	1	50:06:04:2B:ED:90	V	677.609,13	7.183.758,56
21	UFPR_SEM_FIO	1	50:06:04:2B:DD:A0	V	677.681,02	7.183.727,86
22	UFPR_SEM_FIO	1	20:BB:C0:F9:21:A0	V	677.648,21	7.183.741,85
23	UFPR_SEM_FIO	1	50:06:04:2B:EC:90	V	677.638,66	7.183.767,36
24	UFPR_SEM_FIO	1	20:3A:07:BA:8D:F0	IV	677.653,09	7.183.784,68
25	UFPR_SEM_FIO	1	50:06:04:2B:DE:20	IV	677.686,14	7.183.770,54
26	UFPR_SEM_FIO	1	50:06:04:2B:E0:B1	IV	677.676,02	7.183.794,41
27	UFPR_SEM_FIO	1	50:06:04:2B:D1:B0	IV	677.643,25	7.183.808,66
28	UFPR_SEM_FIO	1	50:06:04:2B:E7:90	VI	677.609,44	7.183.735,98
29	UFPR_SEM_FIO	1	50:06:04:2B:E9:C0	V	677.670,96	7.183.753,23
30	UFPR_SEM_FIO	1	50:06:04:2B:EB:10	IV	677.614,11	7.183.801,40

FONTE: A autora (2018)

Esses dados foram adicionados a outras telas da aplicação. Assim quando, por exemplo, fosse usada a rotina dos roteadores próximos, será apresentado ao usuário informação sobre a localização de cada roteador.

3.4.5 Implementar diversas técnicas de posicionamento no aplicativo

Devido a infraestrutura e a cobertura dos roteadores da rede, no caso do posicionamento de um ponto onde fosse detectado só um roteador, foi escolhida a técnica da proximidade, ou seja, o dispositivo adquire a coordenada, o prédio e o andar do roteador mais próximo. O algoritmo para isto é o seguinte:

Algoritmo2 : Pseudocódigo do algoritmo de proximidade (1 roteador)

Entrada: *ArrayList* de Scan redes WIFI (SSID, BSSID), *database* roteadores UFPR_SEM_FIO(SSID, BSSID, N, E, andar, prédio)

Saída: *N, E, andar, predio*

Variáveis: *WiFiManager*

int Quantidade_wifi = 0

```

1 início
2   if (WiFiManager.isWiFiEnabled( ))
3       Quantidade_wifi = ArrayList.size( )
4       if (Quantidade_wifi == 0 )
5           Print "Você não encontra-se próximo da rede UFPR SEM FIO"
6       else if (Quantidade_wifi == 1)
7           Procurar o BSSID na database
8           Associar cada dado com o elemento no TextView
9       end
10  else
11      Print "Você tem que ligar o WIFI para usar o aplicativo, quer ligar o WIFI?"
12  end
13  return N, E, andar, prédio do dispositivo
14 end

```

Para o posicionamento em um ponto onde fossem detectados mais roteadores foi feita a comparação entre três técnicas de posicionamento: o

centróide (média aritmética), o centróide ponderado (média ponderada) e a trilateração.

Para a técnica do centróide o algoritmo considera a determinação do andar e prédio através da técnica da proximidade.

Algoritmo3 : Pseudocódigo do algoritmo de centróide (>1 roteador)

Entrada: *ArrayList* de Scan redes WIFI (SSID, BSSID), *database* roteadores UFPR_SEM_FIO(SSID, BSSID, N, E, andar, predio)

Saída: *N, E, andar, predio*

Variáveis: WiFiManager

int n = 0 (Contador de roteadores)

1 início

```

2   if (WiFiManager.isWiFiEnabled( ))
3       n = ArrayList.size( )
4       if (n == 0 )
5           Print "Você não encontra-se próximo da rede UFPR SEM FIO"
6       else if (n == 1)
7           return algoritmo 2: proximidade
8       else if (n >1)
9           return  $\bar{N} = \frac{\sum N}{n}$  ,  $\bar{E} = \frac{\sum E}{n}$ 
10              Ordem crescente dos elementos do ArrayList
11              Procurar o BSSID do primeiro elemento na database
12              Associar o andar e predio, de acordo com o BSSID.
13   end
14   else
15       Print "Você tem que ligar o WIFI para usar o aplicativo, quer ligar o WIFI?"
16   end
17   return N, E, andar, predio do dispositivo
18 end

```

Para a técnica do centróide ponderado os pesos foram fixados e associadas de acordo com a intensidade recebida, enquanto, ao andar e prédio foram determinado por proximidade. O algoritmo para esta técnica está descrito abaixo.

Algoritmo4 : Pseudocódigo do algoritmo de centróide ponderado (>1 roteador)

Entrada: *ArrayList* de Scan redes WIFI (SSID, BSSID), *database* roteadores
 UFPR_SEM_FIO(SSID, BSSID, N, E, andar, predio)

Saída: *N, E, andar, predio*

Variáveis: WiFiManager

int n = 0 (Contador de roteadores)

```

1 início
2   if (WiFiManager.isWiFiEnabled( ))
3       n = ArrayList.size( )
4       if (n == 0 )
5           Print "Você não encontra-se próximo da rede UFPR SEM FIO"
6       else if (n == 1)
7           return algoritmo 2: proximidade
8       else if (n >1)
9           Ordem crescente dos elementos do ArrayList
10          Procurar o BSSID do primeiro elemento na database
11          Associar o andar e predio, de acordo com o SSID.
12      else if (n == 2)
13          return  $N = N_{rot1} \cdot 0,6 + N_{rot2} \cdot 0,4$  ,  $E = E_{rot1} \cdot 0,6 + E_{rot2} \cdot 0,4$ 
14      else if (n == 3)
15          return  $N = N_{rot1} \cdot 0,44 + N_{rot2} \cdot 0,33 + N_{rot3} \cdot 0,23$  ,
16               $E = E_{rot1} \cdot 0,44 + E_{rot2} \cdot 0,33 + E_{rot3} \cdot 0,23$ 
17      else if (n == 4)
18          return  $N = N_{rot1} \cdot 0,4 + N_{rot2} \cdot 0,3 + N_{rot3} \cdot 0,2 + N_{rot4} \cdot 0,1$ 
19               $E = E_{rot1} \cdot 0,4 + E_{rot2} \cdot 0,3 + E_{rot3} \cdot 0,2 + E_{rot4} \cdot 0,1$ 
20      else if (n == 5)
21          return  $N = N_{rot1} \cdot 0,3 + N_{rot2} \cdot 0,25 + N_{rot3} \cdot 0,2 + N_{rot4} \cdot 0,15 + N_{rot5} \cdot 0,10$ 
22               $E = E_{rot1} \cdot 0,3 + E_{rot2} \cdot 0,25 + E_{rot3} \cdot 0,2 + E_{rot4} \cdot 0,15 + E_{rot5} \cdot 0,10$ 
23      else if (n == 6)
24          return  $N = N_{rot1} \cdot 0,325 + N_{rot2} \cdot 0,275 + N_{rot3} \cdot 0,175 + N_{rot4} \cdot 0,125 + N_{rot5} \cdot 0,075 + N_{rot6} \cdot 0,025$ 
25               $E = E_{rot1} \cdot 0,325 + E_{rot2} \cdot 0,275 + E_{rot3} \cdot 0,175 + E_{rot4} \cdot 0,125 + E_{rot5} \cdot 0,075 + E_{rot6} \cdot 0,025$ 
26      else if (n == 7)
27          return  $N = N_{rot1} \cdot 0,29 + N_{rot2} \cdot 0,24 + N_{rot3} \cdot 0,19 + N_{rot4} \cdot 0,14 + N_{rot5} \cdot 0,09 + N_{rot6} \cdot 0,04 + N_{rot7} \cdot 0,01$ 
28               $E = E_{rot1} \cdot 0,29 + E_{rot2} \cdot 0,24 + E_{rot3} \cdot 0,19 + E_{rot4} \cdot 0,14 + E_{rot5} \cdot 0,09 + E_{rot6} \cdot 0,04 + E_{rot7} \cdot 0,01$ 
29      end
30  end
31  end
32  else
33      Print "Você tem que ligar o WIFI para usar o aplicativo, quer ligar o WIFI?"
34  end
35  return N, E, andar, predio do dispositivo
36 end

```

No caso da trilateração, o andar e prédio foram determinados por proximidade, e as coordenadas com esta técnica. O algoritmo está descrito abaixo.

Algoritmo5 : Pseudocódigo do algoritmo de trilateração (>1 roteador)

Entrada: *ArrayList* de Scan redes WIFI (SSID, BSSID, frequência, RSSI), *database* roteadores UFPR_SEM_FIO(SSID, BSSID, N, E, andar, predio)

Saída: *N, E, andar, predio*

Variáveis: WiFiManager

int n = 0 (Contador de roteadores)

```

1 início
2   if (WiFiManager.isWiFiEnabled( ))
3       n = ArrayList.size( )
4       if (n == 0 )
5           Print "Você não encontra-se próximo da rede UFPR SEM FIO"
6       else if (n == 1)
7           return algoritmo 2: proximidade
8       else if (n >1)
9           Ordem crescente dos elementos do ArrayList
10          Procurar o BSSID do primeiro elemento na database
11          Associar o andar e predio, de acordo com o SSID.
12          
$$r_n = 10^{\frac{P_r - 27,56 - 20 \cdot \log(f)}{20}}$$

13          Trilateração  $(x_n - x_d)^2 + (y_n - y_d)^2 = r_n^2$ 
14          return  $x_d$  e  $y_d$ 
15       end
16   else
17       Print "Você tem que ligar o WIFI para usar o aplicativo, quer ligar o WIFI?"
18   end
19   return N, E, andar, predio do dispositivo
20 end
  
```

Para a técnica da trilateração, foi usada a EQUAÇÃO 8. Neste caso, como o modelo não é linear, foi necessário calcular as coordenadas aproximadas para o *smartphone*, usando a média aritmética das coordenadas. As coordenadas finais são determinadas segundo Ghilani (2010) de acordo com as seguintes equações:

$$X_a = X_i + X \quad (16)$$

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (17)$$

Onde:

A: matriz das derivadas parciais;

L: matriz das observações;

X: vetor das correções.

X_i: vetor dos valores aproximados.

X_a: vetor dos parâmetros ajustados.

O cálculo das coordenadas pela técnica de trileração proposto por Ghilani (2010) foi desenvolvido, mas uma comparação preliminar entre as distâncias obtidas através do princípio RSS e as medidas no levantamento topográfico apresentaram discrepâncias consideráveis. Portanto, foi implementado o método apresentado por Chuan-Chin, Chuan-Hsian e Hoon-Jae (2011) e Kuntal, Tatarwal e Karmakar (2014), no qual as coordenadas do dispositivo podem ser obtidas pelas seguintes equações:

$$E_f = \frac{RSSI_1^2 - RSSI_2^2 + (E_2 + E_1)^2}{2 \cdot (E_2 + E_1)^2} \quad (18)$$

$$N_f = \frac{RSSI_1^2 - RSSI_2^2 + (E_3 + E_1)^2 + (N_3 + N_1)^2}{2 \cdot (N_3 + N_1) - \left(\frac{E_2 + E_1}{N_3 + N_1} \cdot E_f\right)} \quad (19)$$

Onde:

RSSI₁ = intensidade do sinal do primeiro roteador;

RSSI₂ = intensidade do sinal do segundo roteador;

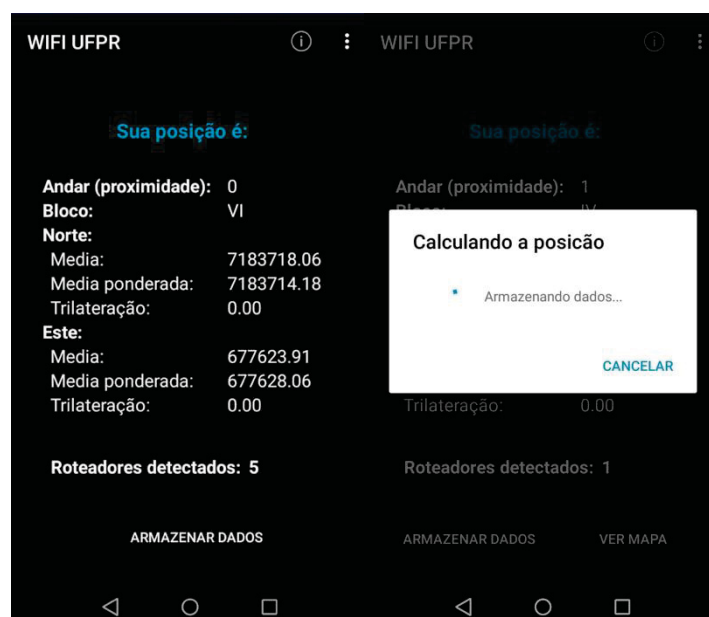
N₁, E₁ = coordenadas do primeiro roteador;

N₂, E₂ = coordenadas do segundo roteador;

N₃, E₃ = coordenadas do terceiro roteador.

A rotina para o cálculo da posição é a seguinte:

FIGURA 34 - ROTINA CÁLCULO DA POSIÇÃO



FONTE: A autora (2018)

Como foi feito nos processos anteriores, os dados calculados foram armazenados na base de dados, e a rotina para o *display* desses dados é a seguinte:

FIGURA 35 - ROTINA *DISPLAY* POSIÇÃO

FONTE: A autora (2018)

3.5 AVALIAR A ACURÁCIA DO SISTEMA

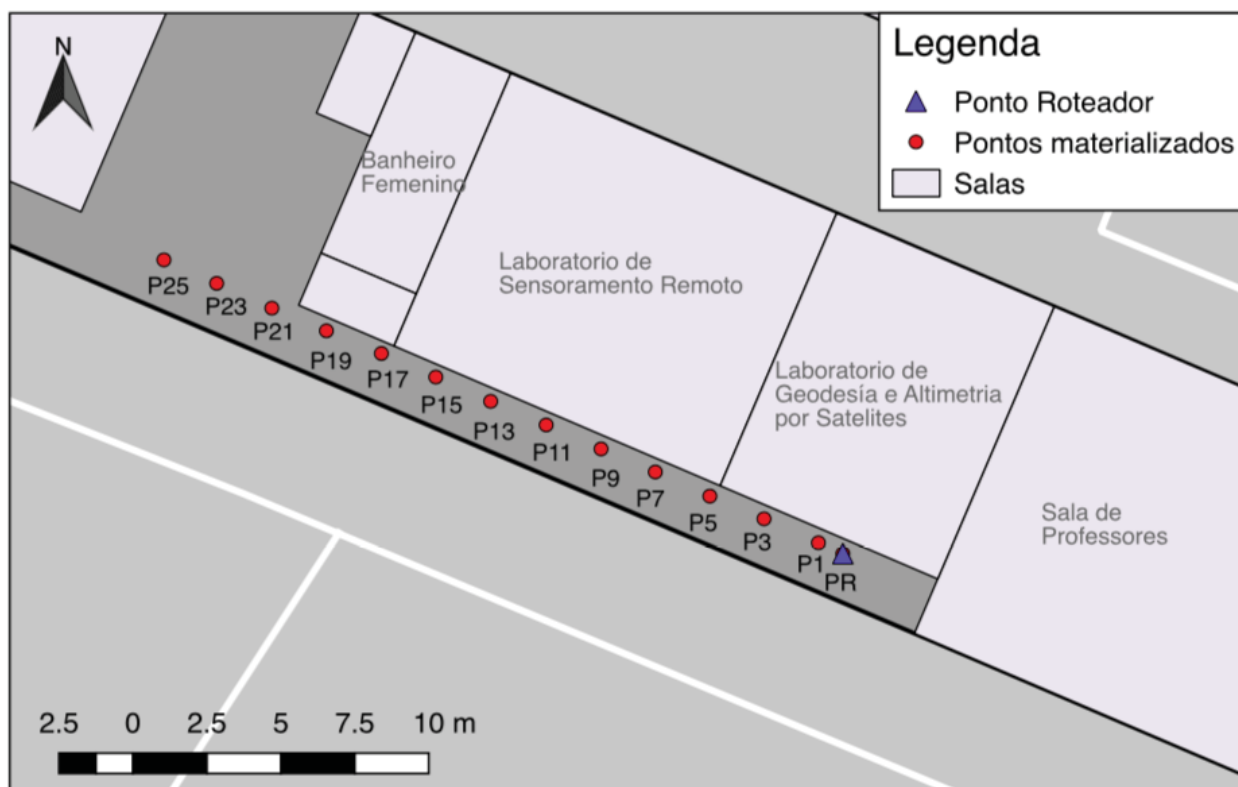
Com a finalidade de avaliar o sistema desenvolvido para o *smartphone* e escolher a técnica de posicionamento para poder apresentar um marcador de posição no mapa, foram executadas diferentes análises:

3.5.1 Avaliar a acurácia na obtenção das distâncias

Foi escolhido um corredor onde foi possível fazer medições de RSSI em diferentes distâncias, com linha de visada entre o AP e o *smartphone*. Isto foi feito em um corredor do prédio “Bloco VI” no andar térreo.

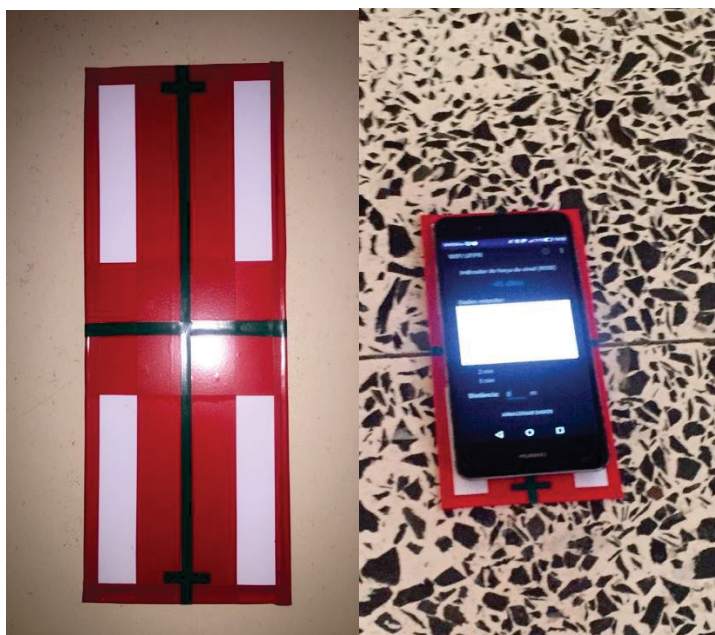
Os pontos foram materializados no chão (FIGURA 36) e foi feito um suporte para o *smartphone* (FIGURA 37), assim permitindo centralizá-lo no mesmo ponto e diminuir erros oriundos da incerteza da localização do sensor WIFI do *smartphone*.

FIGURA 36 - PONTOS MATERIALIZADOS PARA TESTES



FONTE: A autora (2018)

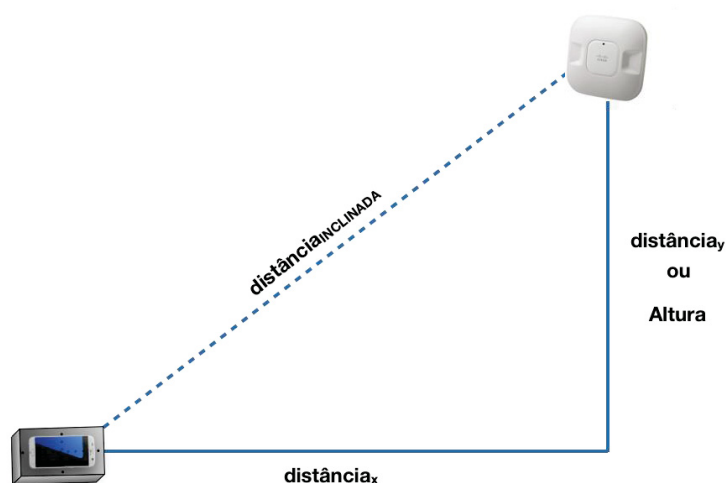
FIGURA 37 - SUPORTE PARA O SMARTPHONE



FONTE: A autora (2018)

As distâncias foram calculadas pelo aplicativo desenvolvido para o *smartphone*, com as duas fórmulas apresentadas anteriormente (EQUAÇÃO 12 e 15) inseridas no aplicativo. As distâncias entre os diferentes pontos e o AP foram também mensuradas com a trena (distância_x na FIGURA 38).

FIGURA 38 - DISTÂNCIA INCLINADA



FONTE: A autora (2018)

O *smartphone* foi posicionado em cada ponto no chão, determinou-se a discrepância entre cada uma das distâncias calculadas e a distância padrão

(distância inclinada). A formulação para isto de acordo com Ghilani (2010) é a seguinte:

$$\triangle d = d_{PADRAO} - d_{CALCULADA} \quad (20)$$

3.5.2 Cálculo da acurácia no modo estático

Nesta etapa o *smartphone* foi posicionado por 1 minuto em cada ponto materializado na etapa anterior e nesses pontos foi calculada a posição do dispositivo por meio das técnicas trilateração, centróide e centróide ponderado.

As coordenadas de cada ponto foram determinadas por um levantamento de campo, com a utilização da trena e estabelecendo como referência as paredes, que correspondem a uma feição bem estabelecida na base cartográfica da área de estudo.

TABELA 6 - COORDENADAS DOS PONTOS DOS TESTES

id	N (m)	E (m)
P1	7.183.696,60	677.653,91
P3	7.183.697,41	677.652,07
P5	7.183.698,17	677.650,24
P7	7.183.698,99	677.648,39
P9	7.183.699,77	677.646,56
P11	7.183.700,58	677.644,70
P13	7.183.701,38	677.642,83
P15	7.183.702,20	677.640,97
P17	7.183.702,99	677.639,13
P19	7.183.703,76	677.637,27
P21	7.183.704,52	677.635,43
P23	7.183.705,36	677.633,56
P25	7.183.706,15	677.631,78
PR	7.183.696,23	677.654,73

FONTE: A autora (2018)

A acurácia para cada uma das técnicas foi obtida pela discrepância planimétrica, que é calculada de acordo com de Ghilani (2010):

$$\Delta E = E_{REAL} - E_{CALCULADO} \quad (21)$$

$$\Delta N = N_{REAL} - N_{CALCULADO} \quad (22)$$

$$Discrepancia = \sqrt{(\Delta N)^2 + (\Delta E)^2} \quad (23)$$

3.5.3 Avaliar a acurácia posicional no modo cinemático

Para o posicionamento em modo cinemático foram usados os pontos materializados anteriormente, realizando um trajeto entre o PR até o P25, em um tempo de 1 min. Considerando que o objetivo deste trabalho é uma solução de posicionamento interno, foi estabelecido que os pedestres fazem o trajeto a uma velocidade constante.

O posicionamento foi feito pelas técnicas do centroide, do centróide ponderado e a trilateração, armazenado no *smartphone* e extraído posteriormente para poder gerar graficamente as variações de posição, no software QGIS.

3.6 IMPLEMENTAR E AVALIAR O POSICIONAMENTO DO USUARIO EM TEMPO REAL EM UM MAPA INTERATIVO

Com a finalidade de alcançar o ultimo objetivo e obter a solução para o posicionamento interno, foram realizadas as seguintes etapas:

3.6.1 Gerar um mapa em um aplicativo móvel

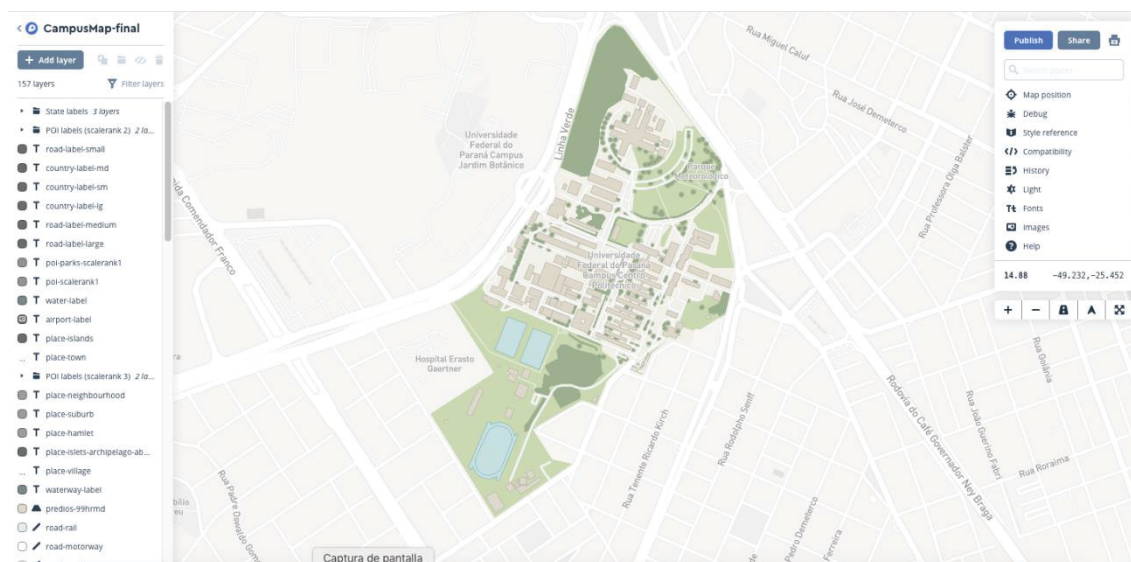
Para conseguir gerar o mapa foi usado o *plugin* “Mapbox Android Map”, que permite adicionar um mapa em um aplicativo para um *smartphone* com a plataforma *Android*. Com este *plugin* é possível escolher o estilo das cores da base cartográfica, adicionar arquivos JSON, adicionar marcadores, gerar aplicações para navegação exterior com a obtenção da posição por meio do AGPS e das redes móveis (GSM), entre outras atividades.

3.6.2 Adicionar as camadas da área de estudo

Para conseguir adicionar a base cartográfica do Campus Centro Politécnico, foi usado o Mapbox Studio, um aplicativo para a plataforma web, que permite adicionar camadas em diferentes formatos (*shapefile*, JSON e csv) à base cartográfica do Open Street Map, para posteriormente serem usados em mapas para diferentes plataformas.

Neste software é possível escolher diferentes estilos de cores de mapa, definir estilos de cores para cada uma das camadas e adicionar manualmente dados. A interface de Mapbox Studio é apresentada na FIGURA 39.

FIGURA 39 - INTERFACE DE MAPBOX STUDIO



FONTE: A autora (2018)

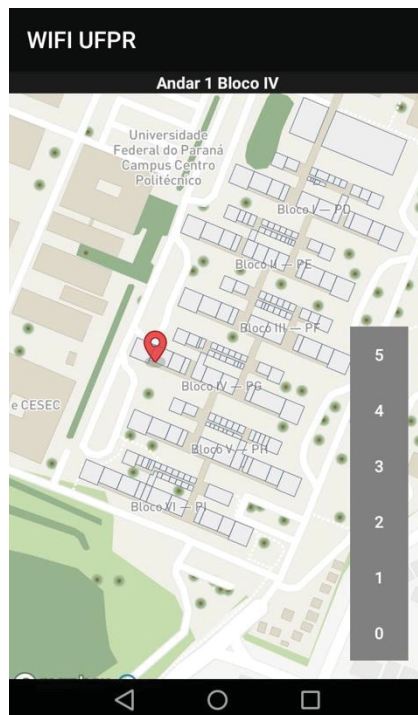
3.6.3 Adicionar um marcador com a posição do dispositivo móvel

Com a seleção da técnica de posicionamento a ser empregada, foi usado o algoritmo apresentado (centroide ponderado) e através desse foram determinadas as coordenadas Norte e Este do dispositivo móvel, que foram integradas ao mapa. No caso da determinação do andar e prédio, como já foi mencionado foi feito por a técnica de proximidade, este dado foi apresentado na parte superior do mapa (FIGURA 40).

Além disso foram adicionadas as camadas dos diferentes andares, para no momento de que o usuário posicionar-se, permitir que ele possa navegar pelo

mapa, podendo localizar-se e fazer um trajeto entre diferentes prédios e andares. A rotina corresponde ao seguinte:

FIGURA 40 - ROTINA POSIÇÃO NO MAPA



FONTE: A autora (2018)

Adicionalmente, foram agregadas duas rotinas, com a finalidade de exibir ao usuário os dados dos roteadores WIFI armazenados da rede. A primeira apresentada na FIGURA 41 mostra os dados em uma *ListView* e no caso da FIGURA 42 proporciona os dados inseridos em um mapa.

FIGURA 41 - ROTINA ROTEADORES ARMAZENADOS

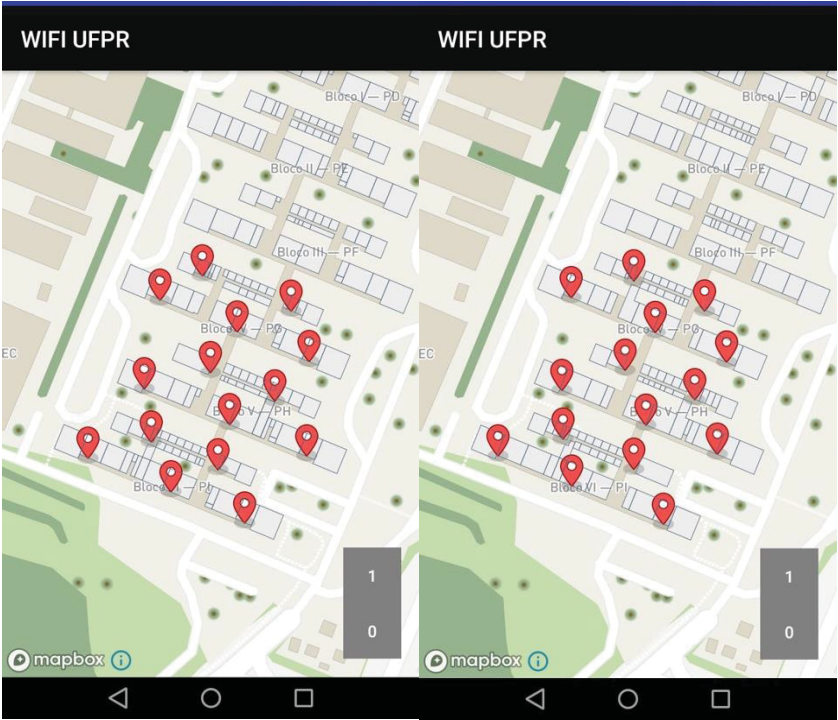
WIFI UFPR

Roteadores armazenados

SSID:	UFPR_SEM_FIO
BSSID:	50:06:04:2B:E7:40
Andar:	0
Bloco:	VI
Coordenadas:	677655.00 - 7183700.00
SSID:	UFPR_SEM_FIO
BSSID:	50:06:04:2B:E6:60
Andar:	0
Bloco:	VI
Coordenadas:	677582.00 - 7183730.00
SSID:	UFPR_SEM_FIO
BSSID:	50:06:04:2B:DE:90
Andar:	0
Bloco:	VI
Coordenadas:	677621.00 - 7183710.00
SSID:	UFPR_SEM_FIO
BSSID:	50:06:04:2B:E8:00
Andar:	0
Bloco:	V
Coordenadas:	677684.00 - 7183730.00
SSID:	UFPR_SEM_FIO
BSSID:	50:06:04:2B:D7:50
Andar:	0
Bloco:	V
Coordenadas:	677648.00 - 7183740.00

FONTE: A autora (2018)

FIGURA 42 - ROTINA MAPA ROTEADORES ARMAZENADOS
Andar Térreo Andar 1



FONTE: A autora (2018)

3.6.4 Avaliar o sistema na detecção do prédio, andar e sala

Com a finalidade de avaliar o sistema na detecção do prédio, andar e sala, foi feito o posicionamento utilizando o aplicativo em diferentes ambientes da área de estudo, comparando com a posição real do *smartphone*.

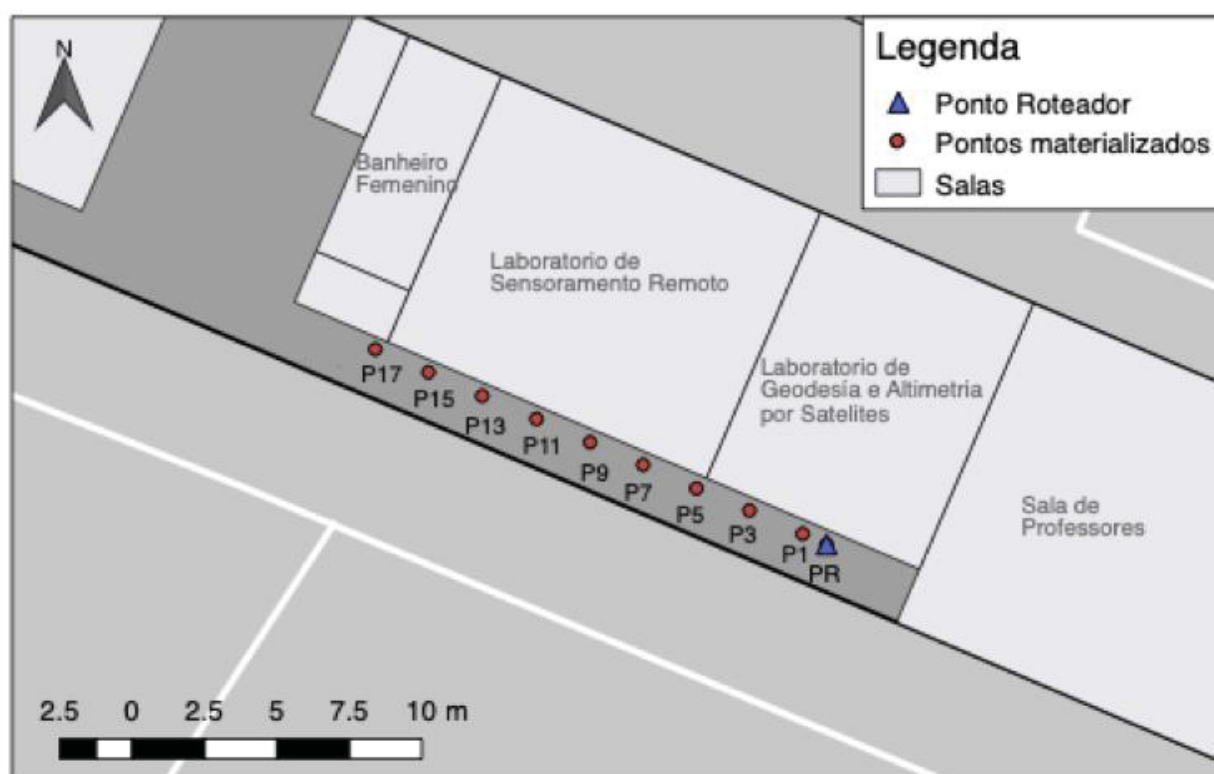
4 ANALISES E RESULTADOS

Para cada um dos testes descritos na metodologia, vão ser apresentados os resultados obtidos.

4.1 TESTE 1 - DETERMINAÇÃO DO $RSSI_0$ E d_0

O teste 1 foi apresentado na metodologia no item 3.4.1, cuja finalidade foi determinar $RSSI_0$ e d_0 . Foi medido o RSSI em 10 pontos diferentes (FIGURA 43) em um intervalo de tempo de 1 minuto, obtendo-se 110 observações por ponto. Os resultados foram:

FIGURA 43 - PONTOS TESTE 1



Fonte: A autora (2018)

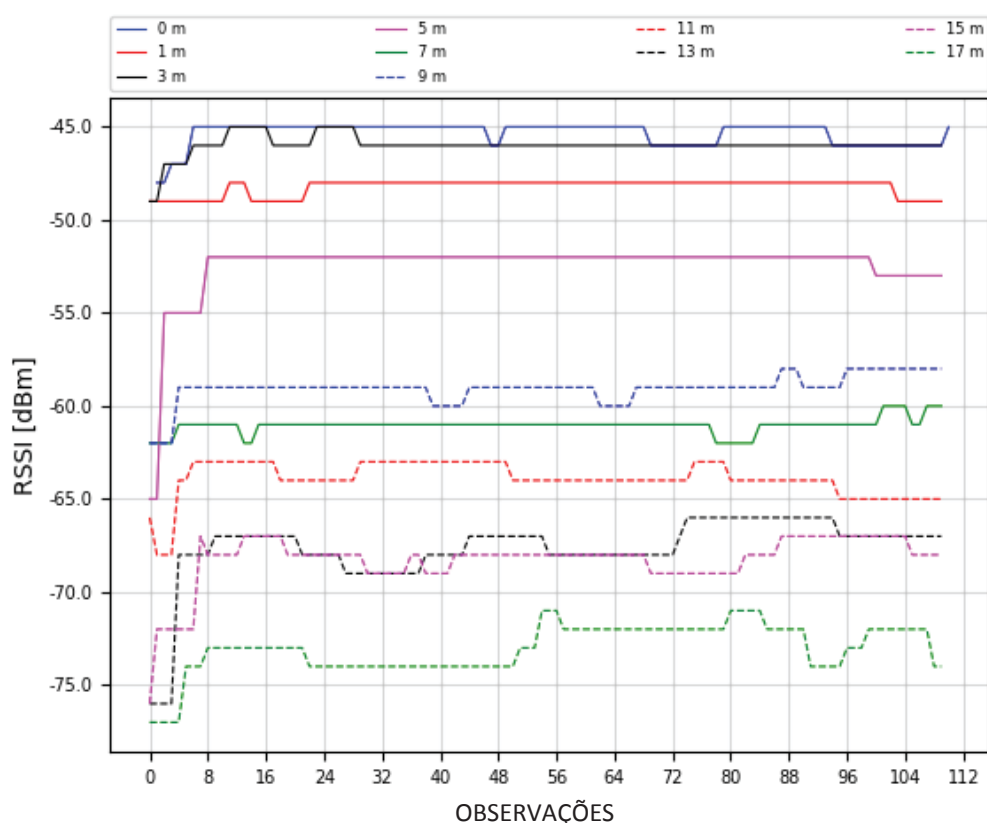
TABELA 7 - RESULTADOS TESTE 1

Distância (m)	Média aritmética (dBm)	Máximo (dBm)	Mínimo (dBm)	Desvio Padrão (dBm)
0	-45	-45	-48	±0,629
1	-48	-48	-49	±0,425
3	-46	-45	-49	±0,556
5	-52	-52	-65	±1,848
7	-61	-60	-62	±0,413
9	-59	-58	-62	±0,755
11	-64	-63	-68	±0,974
13	-68	-66	-76	±1,851
15	-68	-67	-76	±1,348
17	-73	-71	-77	±1,310

Fonte: A autora (2018)

De acordo com a TABELA 7 e o GRÁFICO 1, é possível ver que em alguns casos a intensidade não tem uma variação muito grande na mesma posição, mas para a distância 5 (m) tem-se uma variação de 13 (dBm), que poderia ser pela falta do filtrado do ruído na amostra. Em relação à dispersão dos dados é possível ver que os dados não se encontram muito dispersos na maioria das amostras. Além disso, quando a distância aumenta a qualidade do sinal diminui na maioria das amostras.

GRÁFICO 1 - VARIAÇÃO DO RSSI DE ACORDO COM A DISTÂNCIA



Fonte: A autora (2018)

4.2 TESTE 2 - AVALIAR A ACURÁCIA NA OBTENÇÃO DAS DISTÂNCIAS

O teste 2, exposto no item 3.5.1, teve por objetivo obter a exatidão na obtenção das distâncias entre o *smartphone* e o roteador. A distância obtida pela EQUAÇÃO 12 é apresentada como D1 e a distância da EQUAÇÃO 15 como D2. Foram medidas 10 distâncias padrão, e o *smartphone* foi posicionado 1 minuto por ponto, obtendo 110 observações por ponto. Os resultados foram:

TABELA 8 - DISCREPÂNCIAS MÉDIAS DISTÂNCIA

(continua)

Distância padrão (m)	D1 média (m)	Δd (Dp-D1) (m)	D2 média (m)	Δd (Dp-D2) (m)
2,445	0,740	1,705	1,803	0,642
2,642	1,029	1,613	2,506	0,135
3,870	0,794	3,076	1,935	1,935
5,566	1,738	3,828	4,234	1,332

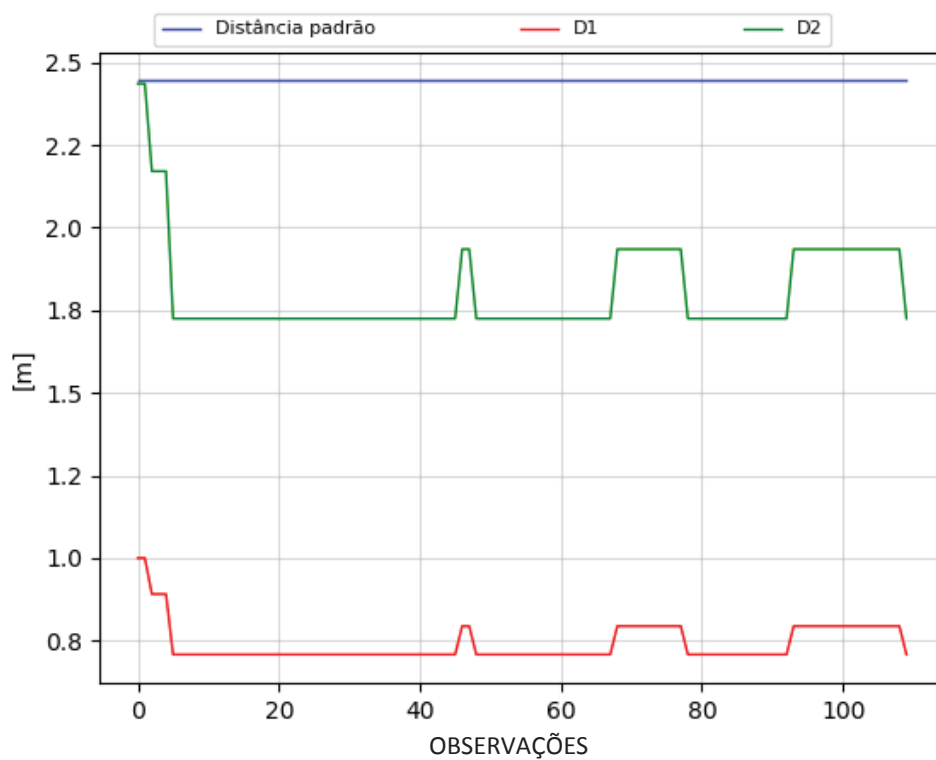
Fonte: A autora (2018)

TABELA 8 - DISCREPÂNCIAS MÉDIAS DISTÂNCIA

Distância padrão (m)	D1 média (m)	Δd (Dp-D1) (m)	D2 média (m)	Δd (Dp-D2) (m)
7,415	4,495	2,919	10,952	3,537
9,326	3,581	5,745	8,724	0,602
11,268	6,293	4,975	15,331	4,063
13,228	9,894	3,334	24,103	10,875
15,198	10,464	4,734	25,493	10,295
17,175	18,091	0,916	44,073	26,898

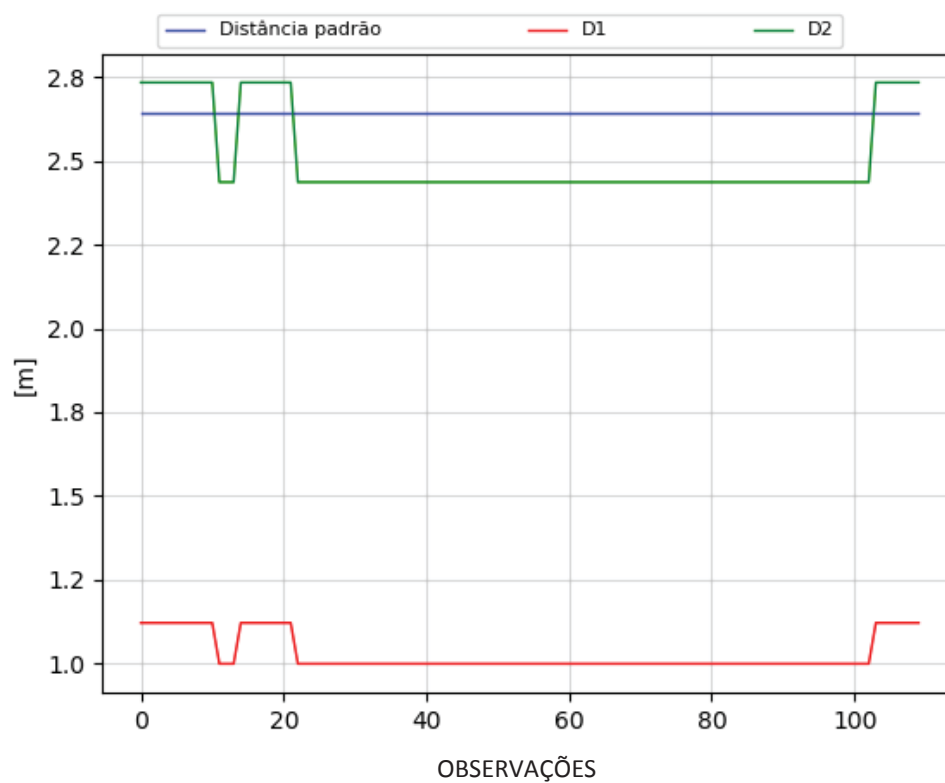
Fonte: A autora (2018)

GRÁFICO 2 - DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA EMBAIXO DO ROTEADOR



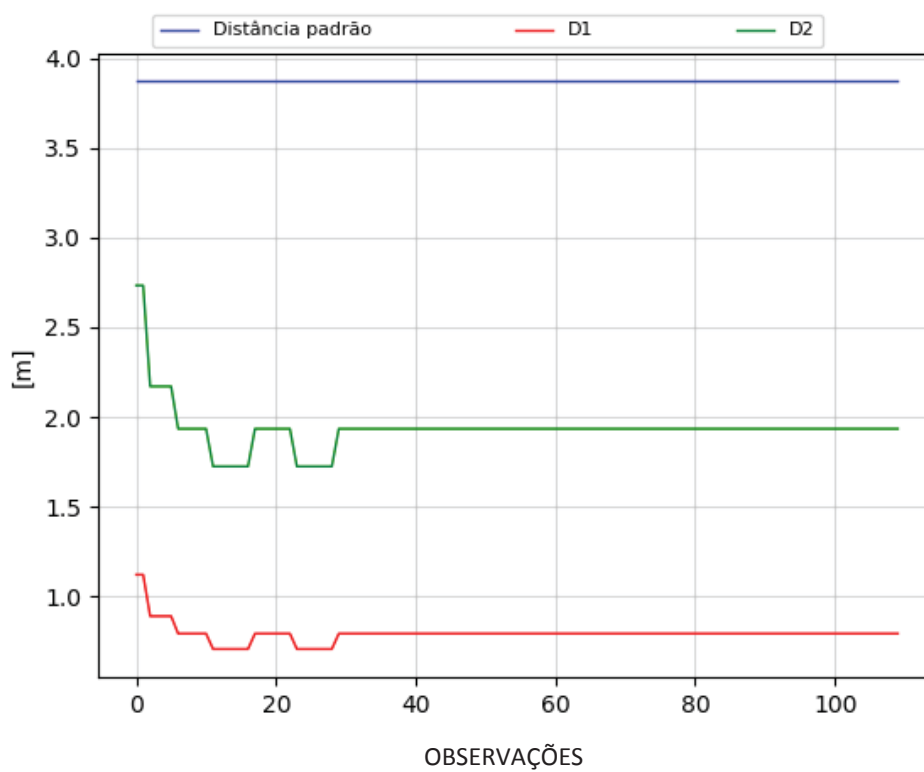
Fonte: A autora (2018)

GRÁFICO 3 - DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 1 METRO NO PLANO HORIZONTAL



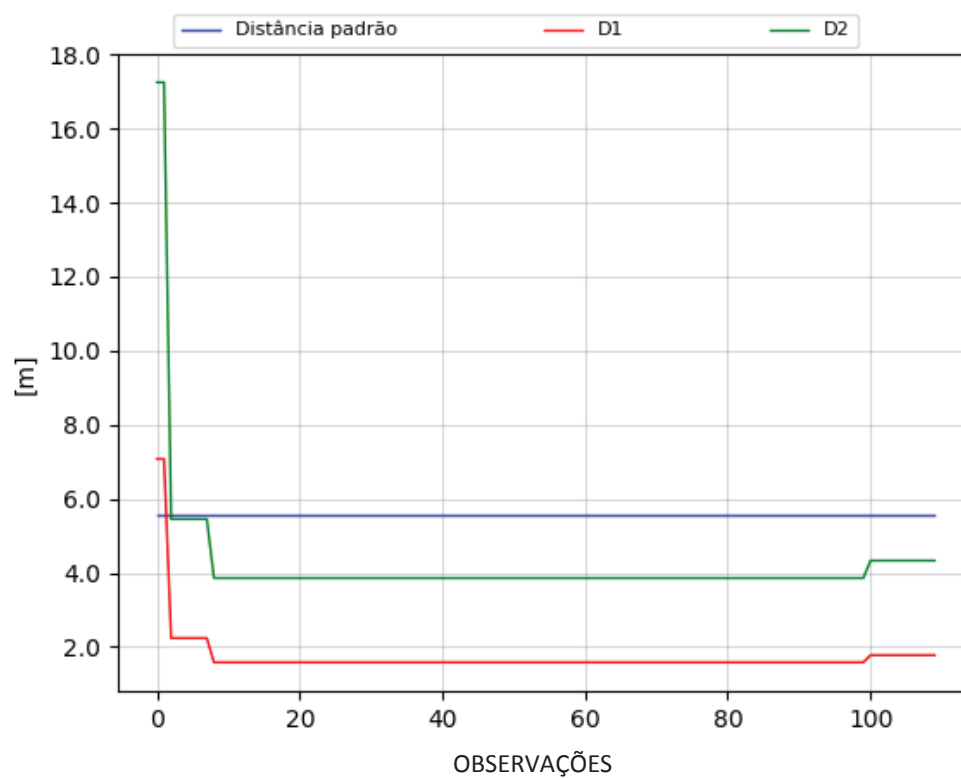
Fonte: A autora (2018)

GRÁFICO 4 - DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 3 METROS NO PLANO HORIZONTAL



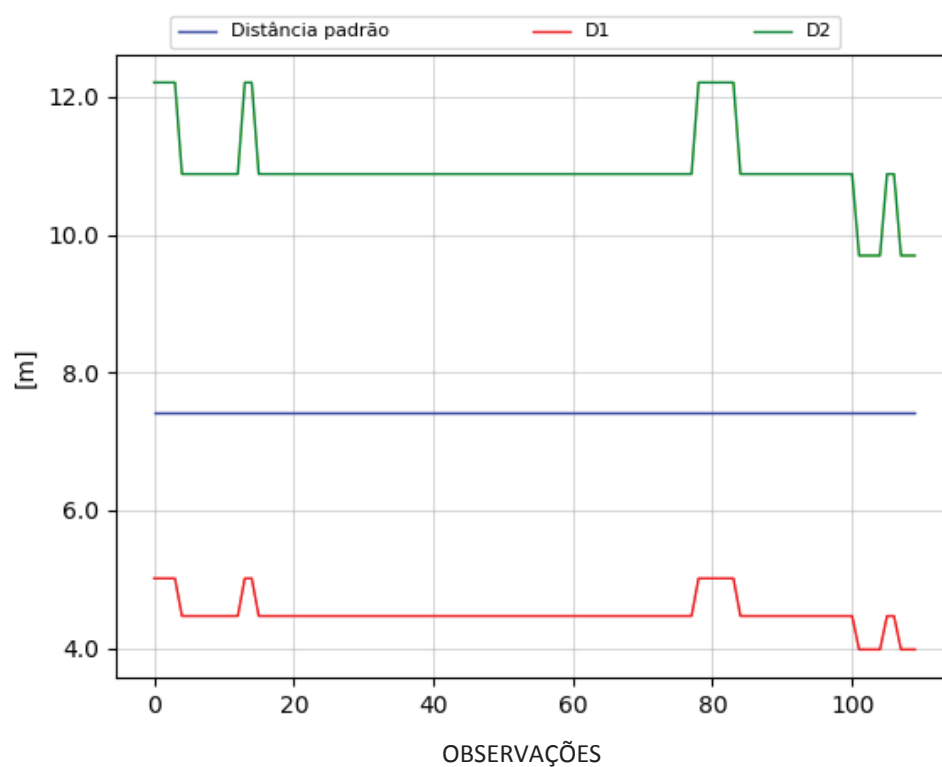
Fonte: A autora (2018)

GRÁFICO 5 - DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 5 METROS NO PLANO HORIZONTAL



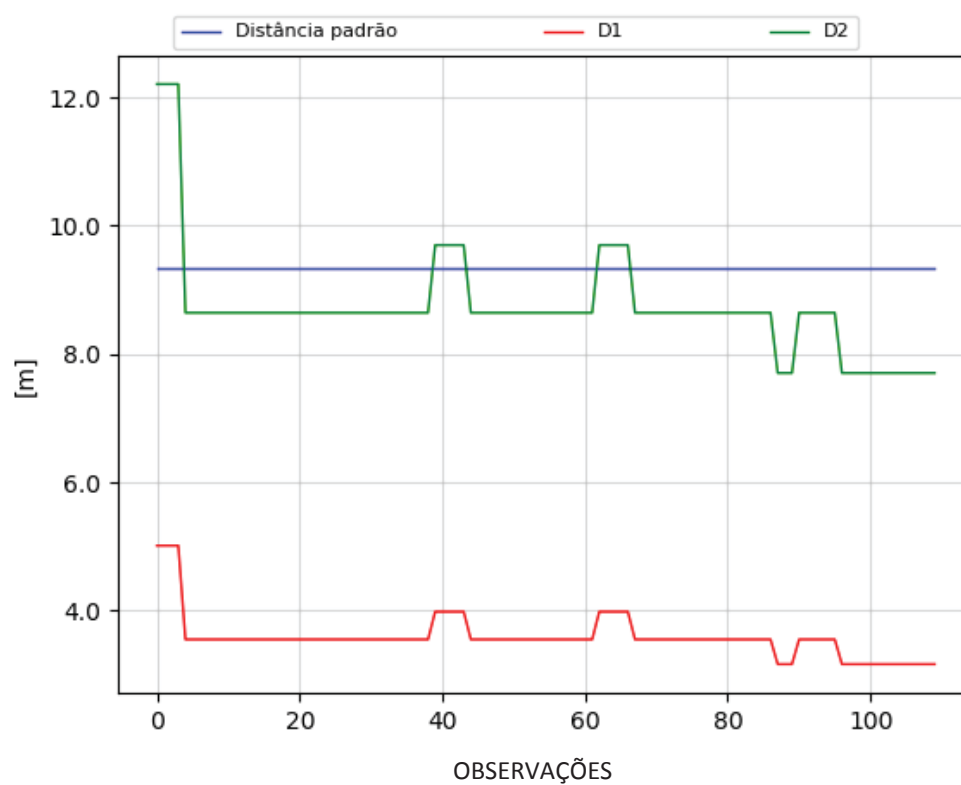
Fonte: A autora (2018)

GRÁFICO 6 - DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 7 METROS NO PLANO HORIZONTAL



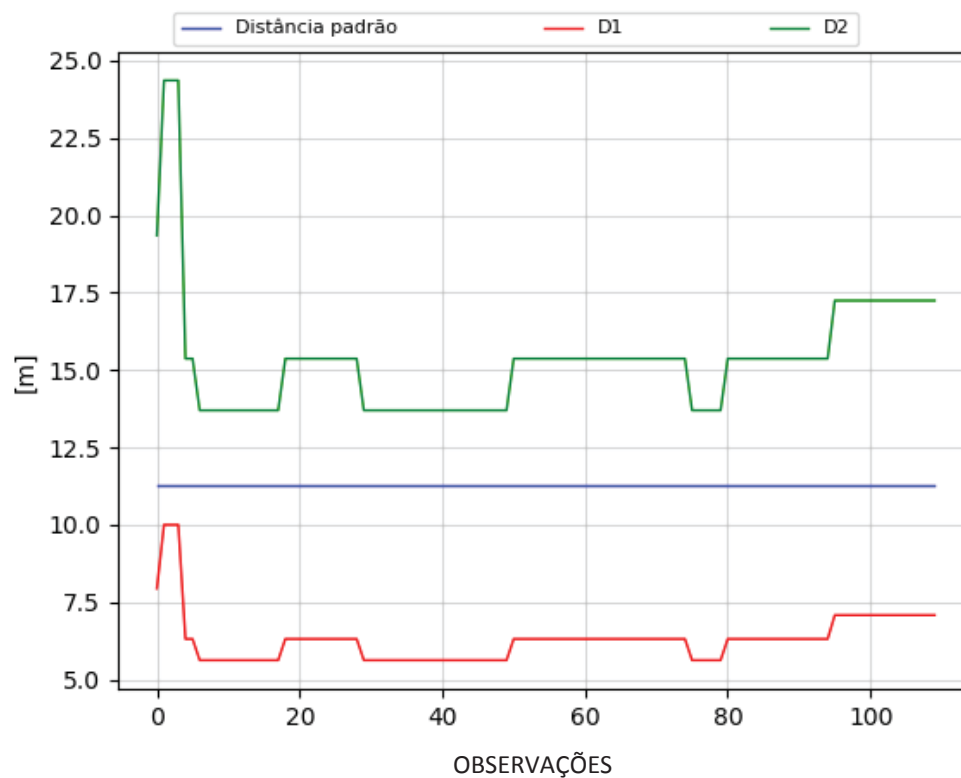
Fonte: A autora (2018)

GRÁFICO 7 - DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 9 METROS NO PLANO HORIZONTAL



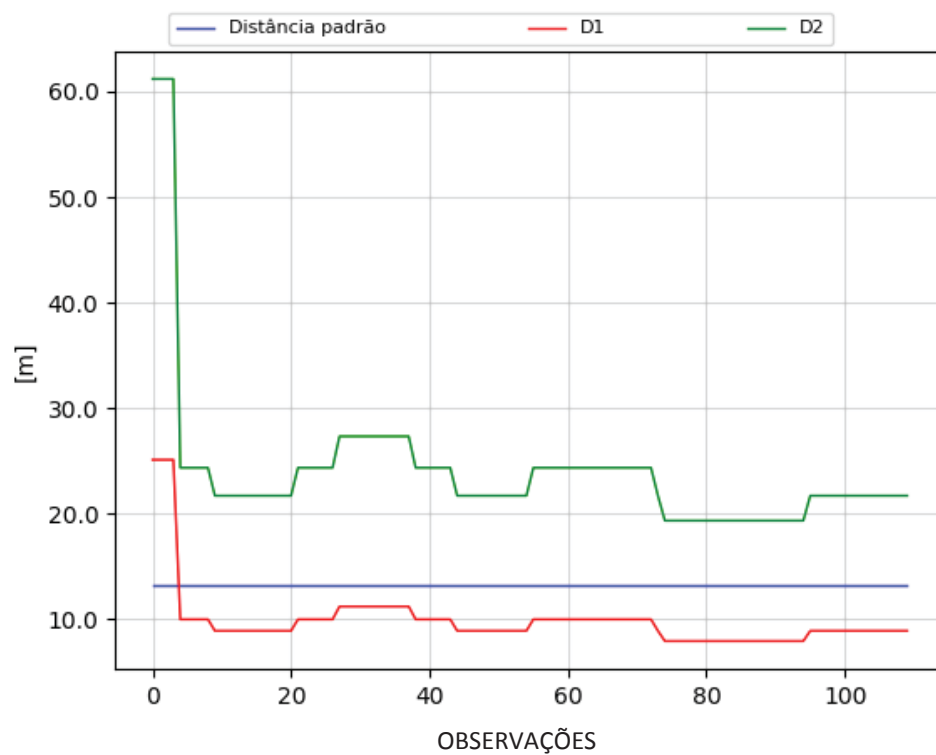
Fonte: A autora (2018)

GRÁFICO 8 - DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 11 METROS NO PLANO HORIZONTAL



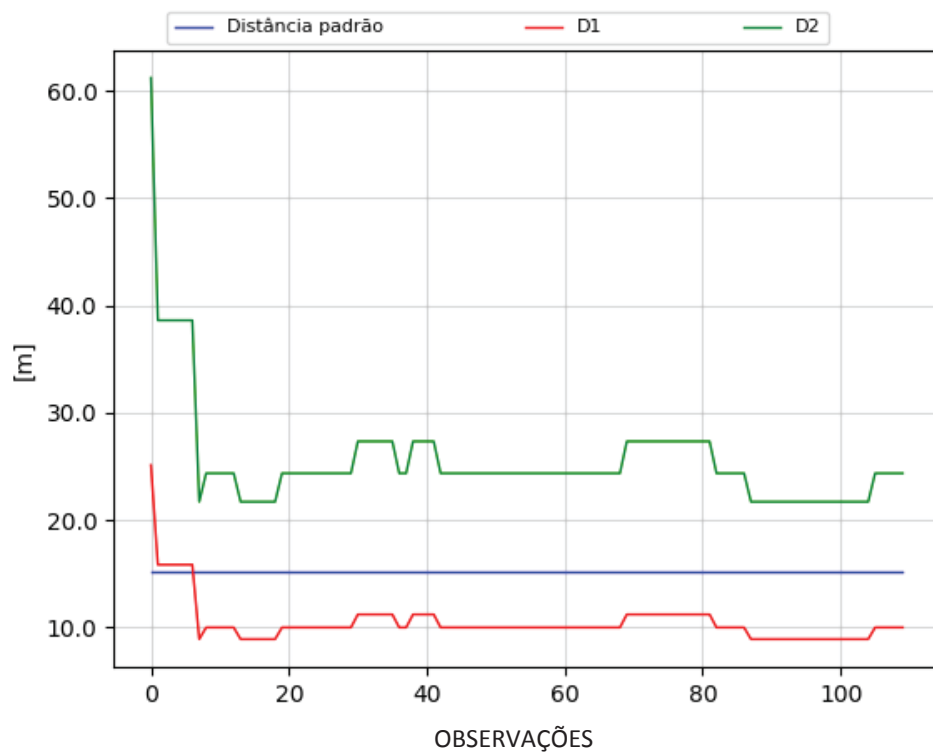
Fonte: A autora (2018)

GRÁFICO 9 - DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 13 METROS NO PLANO HORIZONTAL



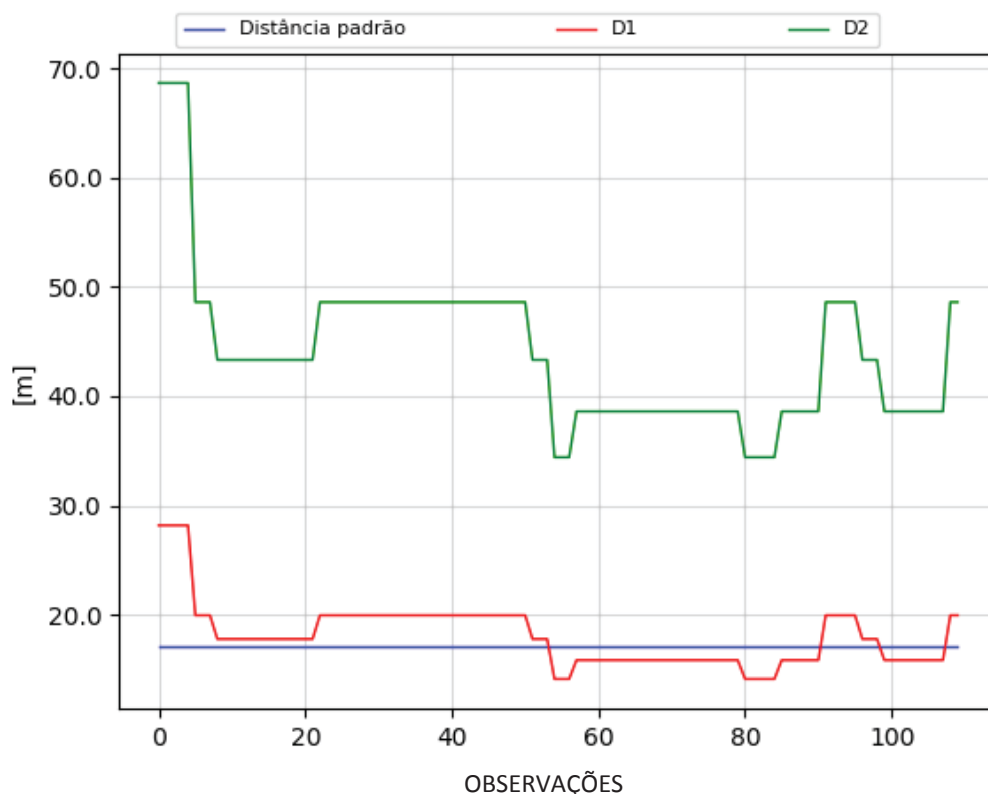
Fonte: A autora (2018)

GRÁFICO 10 - DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 15 METROS NO PLANO HORIZONTAL



Fonte: A autora (2018)

GRÁFICO 11 - DETERMINAÇÃO DE DISTÂNCIA A 17 METROS NO PLANO HORIZONTAL



Fonte: A autora (2018)

De acordo com a TABELA 8 é possível interpretar que na maioria das amostras a distância D1 é mais próxima à distância padrão, as discrepâncias mudam desde os 13 metros sendo mais próxima ao padrão está distância. Entretanto, nos gráficos (2 até o 11) é possível analisar que o comportamento de ambas distâncias é similar no tempo, nos gráficos 1, 2, 3, 4, 5 e 7 a distância obtida com a formulação 1 encontra-se mais próxima à distância padrão. No caso dos gráficos 9, 10 e 11, a distância da formulação 2 é mais próxima à realidade.

TABELA 9 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DISCREPÂNCIAS PARA AS DUAS DISTÂNCIAS

Discrepâncias	Δd (Dp-D1)	Δd (Dp-D2)
Média (m)	3,101	5,102
Desvio Padrao (m)	$\pm 1,946$	$\pm 8,961$

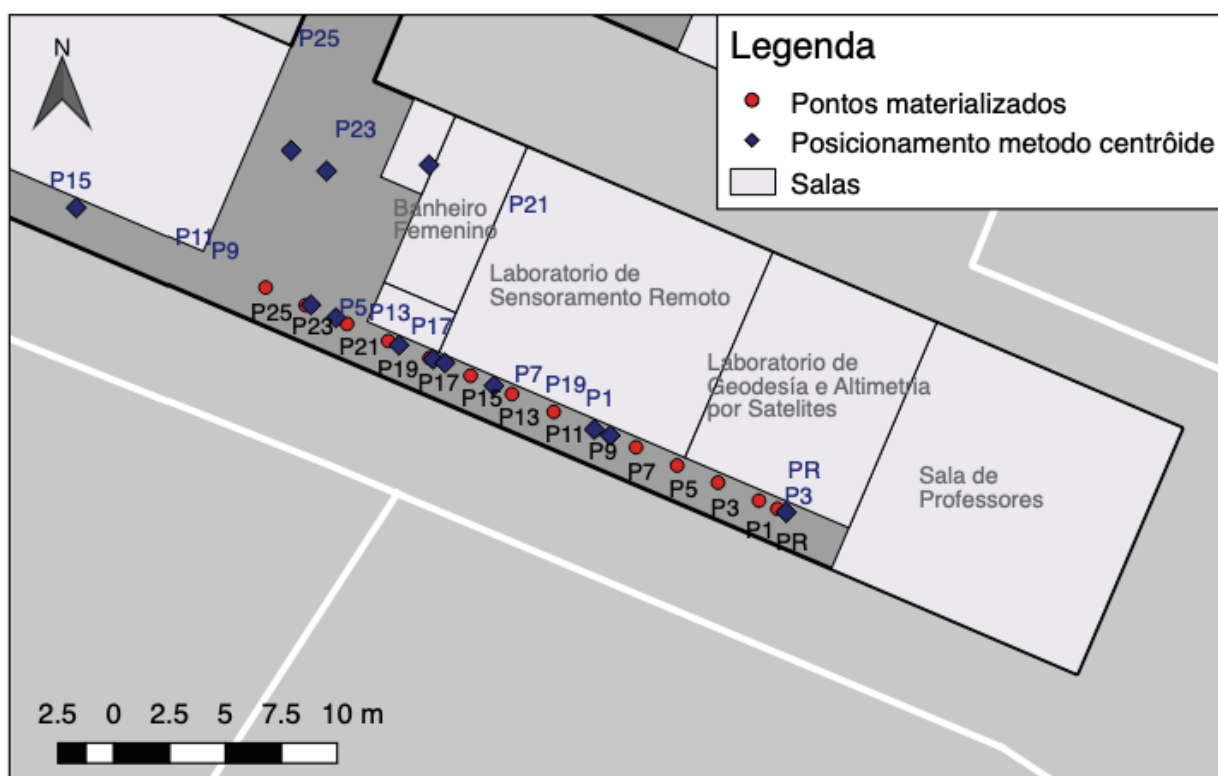
Fonte: A autora (2018)

Por meio da TABELA 9 é possível analisar que, em geral, as variações médias de D2 são maiores do que D1, e que D2 tem uma maior dispersão nas observações.

4.3 TESTE 3 - CALCULAR A ACURÁCIA NO MODO ESTÁTICO

O teste 3 foi denotado no item 3.5.2, com o objetivo de obter a acurácia do posicionamento do sistema no modo estático. O teste foi feito para 14 pontos, com tempo de medição de 1 minuto por ponto, obtendo 110 observações por ponto. A FIGURA 44 apresenta a posição dos pontos e a posição calculada com a técnica do centróide. A TABELA 10 apresenta as discrepâncias planimétricas obtidas por esta técnica.

FIGURA 44 - POSICIONAMENTO PELO MÉTODO ESTÁTICO COM A TÉCNICA DO CENTRÓIDE



Fonte: A autora (2018)

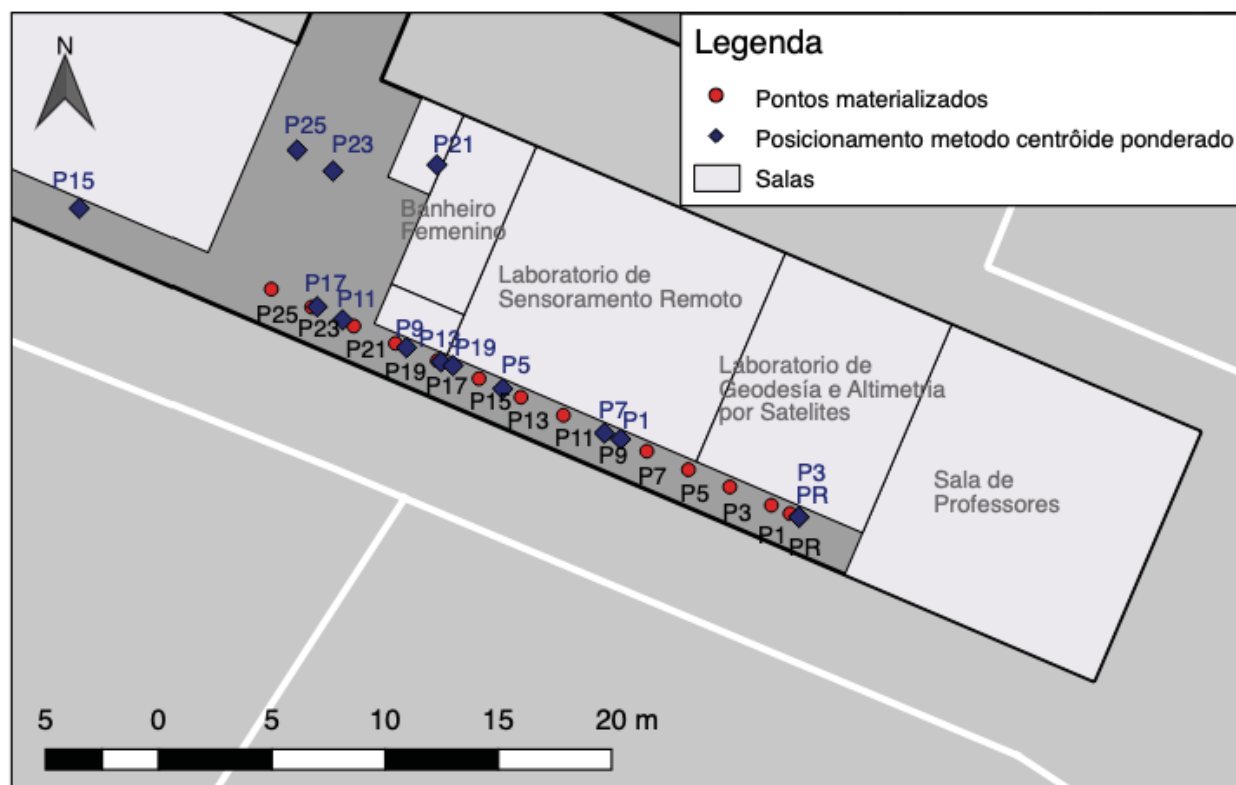
TABELA 10 - DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS COM A TÉCNICA CENTRÓIDE

id	Coordenadas Padrão		Coordenadas calculadas por média aritmética		Discrepâncias		
	N (m)	E(m)	N (m)	E (m)	ΔN (m)	$\Delta E(m)$	Planimétrica (m)
PR	7.183.696,23	677.654,73	7.183.696,04	677.655,22	0,19	-0,49	0,52
P1	7.183.696,60	677.653,91	7.183.701,06	677.643,73	-4,46	10,17	11,11
P3	7.183.697,41	677.652,07	7.183.696,04	677.655,22	1,37	-3,15	3,44
P5	7.183.698,17	677.650,24	7.183.704,50	677.635,66	-6,33	14,58	15,89
P7	7.183.698,99	677.648,39	7.183.701,23	677.643,21	-2,24	5,18	12,00
P9	7.183.699,77	677.646,56	7.183.707,17	677.629,39	-7,40	17,17	18,69
P11	7.183.700,58	677.644,70	7.183.707,58	677.628,42	-7,01	16,29	17,73
P13	7.183.701,38	677.642,83	7.183.704,19	677.636,37	-2,82	6,46	8,54
P15	7.183.702,20	677.640,97	7.183.710,04	677.622,64	-7,84	18,33	19,94
P17	7.183.702,99	677.639,13	7.183.704,17	677.636,56	-1,18	2,58	2,83
P19	7.183.703,76	677.637,27	7.183.701,15	677.643,52	2,61	-6,25	6,84
P21	7.183.704,52	677.635,43	7.183.709,23	677.643,11	-4,70	-7,68	9,04
P23	7.183.705,36	677.633,56	7.183.712,72	677.635,11	-7,36	-1,55	7,69
P25	7.183.706,15	677.631,78	7.183.716,39	677.633,43	-10,24	-1,65	11,73

Fonte: A autora (2018)

Conforme a TABELA 10 com a técnica do centróide tem-se discrepâncias que variam entre 0,52 a 18,59 metros.

FIGURA 45 - POSICIONAMENTO PELO MÉTODO ESTÁTICO COM A TÉCNICA DO CENTRÓIDE PONDERADO



Fonte: A autora (2018)

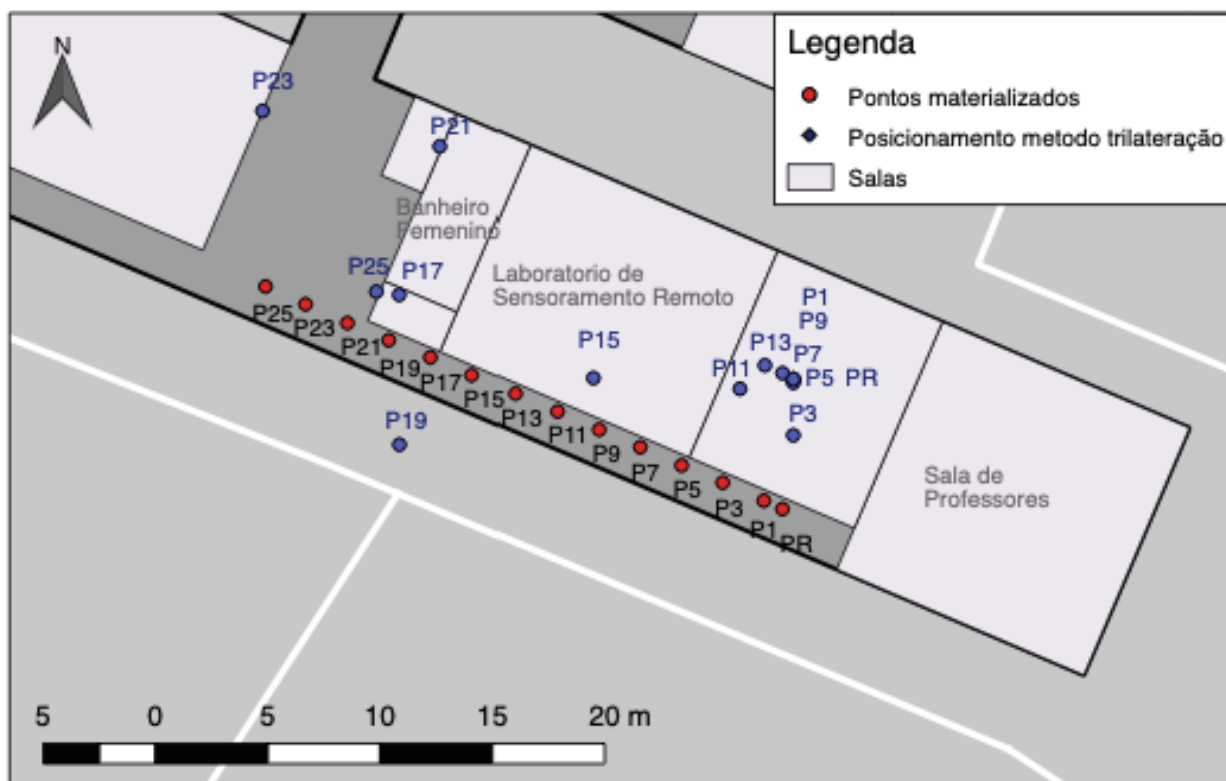
TABELA 11 - DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS COM A TÉCNICA CENTRÓIDE PONDERADO

id	Coordenadas Padrão		Coordenadas calculadas por média ponderada		Discrepâncias		
	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	Planimetria (m)
PR	7.183.696,23	677.654,73	7.183.696,08	677.655,12	0,16	-0,39	0,42
P1	7.183.696,60	677.653,91	7.183.699,52	677.647,24	-2,92	6,67	7,28
P3	7.183.697,41	677.652,07	7.183.696,08	677.655,12	1,33	-3,05	3,33
P5	7.183.698,17	677.650,24	7.183.701,75	677.642,02	-3,58	8,22	8,96
P7	7.183.698,99	677.648,39	7.183.699,79	677.646,52	-0,80	1,87	8,30
P9	7.183.699,77	677.646,56	7.183.703,57	677.637,76	-3,80	8,79	9,67
P11	7.183.700,58	677.644,70	7.183.704,79	677.634,93	-4,22	9,77	10,65
P13	7.183.701,38	677.642,83	7.183.702,94	677.639,29	-1,56	3,53	5,37
P15	7.183.702,20	677.640,97	7.183.709,73	677.623,36	-7,54	17,61	19,15
P17	7.183.702,99	677.639,13	7.183.705,37	677.633,81	-2,38	5,32	5,87
P19	7.183.703,76	677.637,27	7.183.702,77	677.639,82	0,99	-2,54	2,99
P21	7.183.704,52	677.635,43	7.183.711,65	677.639,11	-7,13	-3,68	8,08
P23	7.183.705,36	677.633,56	7.183.711,37	677.634,51	-6,01	-0,95	6,12
P25	7.183.706,15	677.631,78	7.183.712,30	677.632,92	-6,15	-1,14	7,31

Fonte: A autora (2018)

Enquanto com a TABELA 11 para a técnica do centróide ponderado as discrepâncias vão de 0,42 aos 19,15 metros.

FIGURA 46 - POSICIONAMENTO PELO MÉTODO ESTÁTICO COM A TÉCNICA DE TRILATERAÇÃO



Fonte: A autora (2018)

TABELA 12 - DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS COM A TÉCNICA TRILATERAÇÃO SEGUNDO MÉTODO

(continua)

id	Coordenadas Padrão		Coordenadas calculadas		Discrepâncias		
	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	Planimetria (m)
PR	7.183.696,23	677.654,73	7.183.702,02	677.655,22	-5,78	-0,48	5,81
P1	7.183.696,60	677.653,91	7.183.702,02	677.655,22	-5,42	-1,31	5,57
P3	7.183.697,41	677.652,07	7.183.699,52	677.655,22	-2,11	-3,15	4,68
P5	7.183.698,17	677.650,24	7.183.701,86	677.655,22	-3,68	-4,98	6,30
P7	7.183.698,99	677.648,39	7.183.702,29	677.654,74	-3,30	-6,35	7,81
P9	7.183.699,77	677.646,56	7.183.702,02	677.655,22	-2,25	-8,66	8,95
P11	7.183.700,58	677.644,70	7.183.701,59	677.652,84	-1,01	-8,14	10,19
P13	7.183.701,38	677.642,83	7.183.702,64	677.653,95	-1,27	-11,12	12,27
P15	7.183.702,20	677.640,97	7.183.702,07	677.646,30	0,12	-5,33	13,05
P17	7.183.702,99	677.639,13	7.183.705,78	677.637,74	-2,79	1,39	4,77

Fonte: A autora (2018)

TABELA 12 - DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS COM A TÉCNICA TRILATERAÇÃO SEGUNDO MÉTODO

id	Coordenadas Padrão		Coordenadas calculadas		(conclusão) Discrepâncias		
	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	Planimetria (m)
P19	7.183.703,76	677.637,27	7.183.699,10	677.637,75	4,66	-0,48	5,49
P21	7.183.704,52	677.635,43	7.183.712,40	677.639,55	-7,88	-4,12	10,47
P23	7.183.705,36	677.633,56	7.183.713,98	677.631,64	-8,62	1,92	13,79
P25	7.183.706,15	677.631,78	7.183.705,92	677.636,72	0,23	-4,94	8,09

Fonte: A autora (2018)

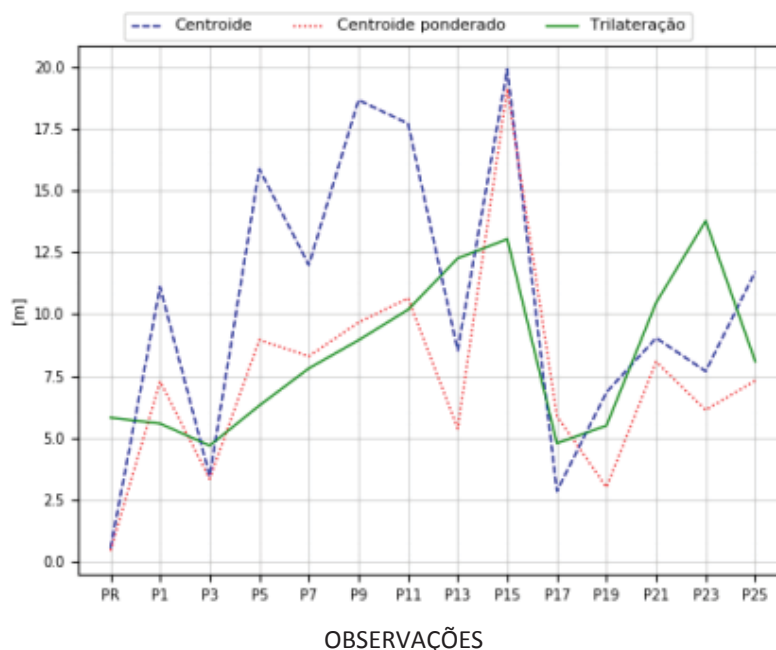
Conforme com a TABELA 12 as discrepâncias variam de 4,77 a 13,79 metros.

TABELA 13 - DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS COM A TÉCNICA CENTRÓIDE PONDERADO

Técnica	Discrepâncias planimétrica media (m)	Desvio padrão (m)
Centróide	10,43	$\pm 6,06$
Centróide ponderado	7,39	$\pm 4,39$
Trilateração	8,38	$\pm 3,14$

Fonte: A autora (2018)

GRÁFICO 12 - DISCREPÂNCIAS PARA AS TRÊS TÉCNICAS



Fonte: A autora (2018)

Foi desenvolvida a trilateração de acordo ao proposto por Ghilani (2010), mas os dados no ajustamento não convergiram. Por isto, foi adicionada ao aplicativo a outra formulação proposta por Chuan-Chin, Chuan-Hsian e Hoon-Jae (2011) apresentada na metodologia EQUAÇÃO 18 e 19.

No entanto, segundo a TABELA 13 e o GRÁFICO 12, a técnica com a discrepância média mais próxima ao padrão foi o centróide ponderado, obtendo uma discrepância planimétrica de 7,39 metros e uma precisão de 4,39 metros.

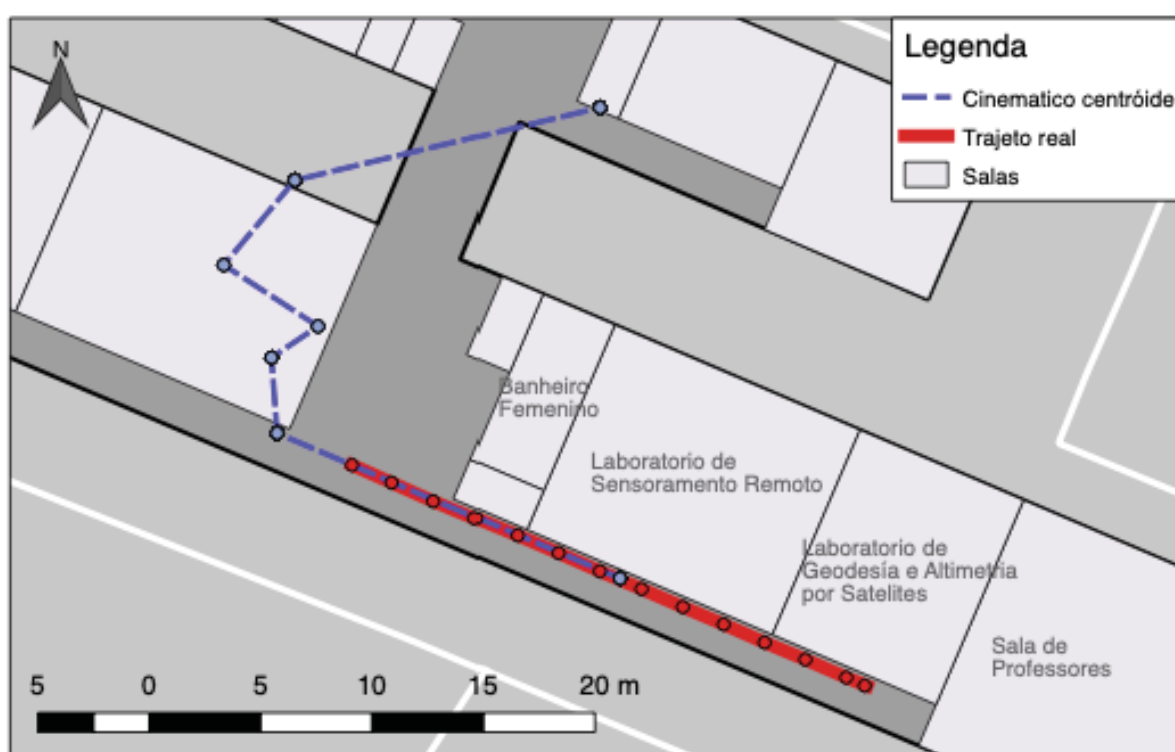
Enquanto que para os mapas gerados, na FIGURA 44, que corresponde ao método estático com a técnica do centróide, é possível ver que as coordenadas calculadas de alguns pontos são iguais, por exemplo para os pontos PR e P1. Isto acontece porque eles no momento do posicionamento detectaram os mesmos roteadores. Neste mapa só dos pontos (PR e P17) ficaram próximos de sua posição real, ou seja, a posição materializada no chão.

Para o mapa da FIGURA 45, que apresenta a técnica do centróide ponderado, o comportamento das observações é muito similar com a técnica do centróide e neste caso só um ponto ficou próximo ao padrão. Na FIGURA 46, onde se encontra o mapa para a técnica da trilateração, é possível olhar que grande parte dos pontos ficaram posicionados no Laboratório de Geodésia e Altimetria por Satélites.

4.4 TESTE 4 - AVALIAR A ACURÁCIA POSICIONAL NO MODO CINEMÁTICO

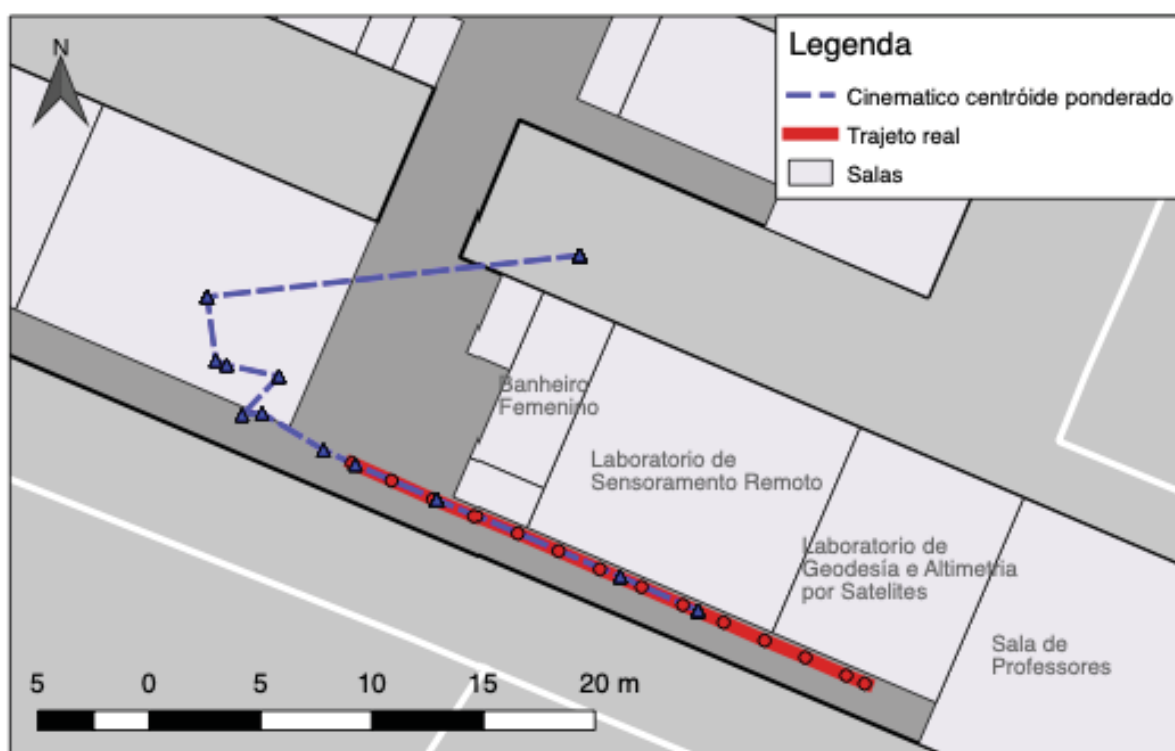
O último teste, apresentado no item 3.5.3, tem como objetivo obter a acurácia posicional do sistema no modo cinemático. O tempo de medição do trajeto foi de 1 minuto, obtendo 110 pares de coordenadas calculadas por cada técnica. Os resultados para este teste foram os seguintes:

FIGURA 47 - TRAJETÓRIA OBTIDA COM A TÉCNICA DO CENTRÓIDE



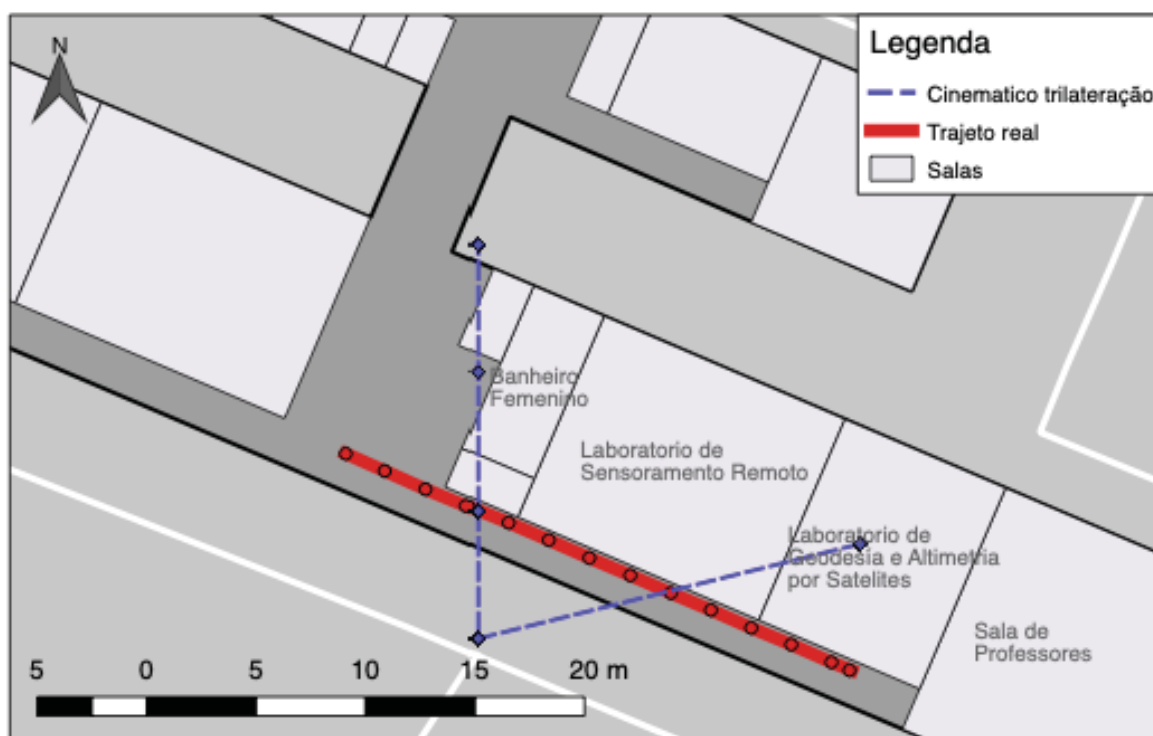
Fonte: A autora (2018)

FIGURA 48 - TRAJETÓRIA OBTIDA COM A TÉCNICA DO CENTRÓIDE PONDERADO



Fonte: A autora (2018)

FIGURA 49 - TRAJETÓRIA OBTIDA COM A TÉCNICA DA TRILATERAÇÃO



Fonte: A autora (2018)

Para o posicionamento cinemático foram elaborados 3 mapas (FIGURA 47, 48 e 49) que mostram o trajeto realizado e o obtido com o aplicativo para as três técnicas. Enquanto que o trajeto resultante com a técnica do centróide e o centróide ponderado tiveram um comportamento muito similar, sendo os mais representativos de acordo com o trajeto original comparado com a técnica da trilateração.

4.5 TESTE 5 - AVALIAR O SISTEMA NA DETECÇÃO DO PRÉDIO, ANDAR E SALA

O teste 5 foi apresentado na metodologia no item 3.6.4, onde o *smartphone* foi posicionado em diferentes ambientes e foi comparado com a posição real do objeto. Os resultados deste teste encontram-se na TABELA 14.

FIGURA 50 - TESTE DETECÇÃO PRÉDIO, ANDAR E SALA



FONTE: A autora (2018)

FIGURA 51 - TESTE DETECÇÃO PRÉDIO, ANDAR E SALA



FONTE: A autora (2018)

FIGURA 53 - TESTE DETECÇÃO PRÉDIO, ANDAR E SALA



FONTE: A autora (2018)

No caso da FIGURA 50 (A - B - C - D), FIGURA 51 (F - G) e FIGURA 53 (N) o marcador de posição ficou a uma distância de 2 até 13 metros da posição real do *smartphone*, no ambiente o sala do lado da localização real do dispositivo, em quanto à FIGURA 51 (E) o dispositivo forneceu a posição na sala onde se encontrava na realidade. Para a FIGURA 51 (H), FIGURA 52 (I - J - K - L) e FIGURA 53 (M) foi feito o posicionamento no corredor, sendo correta a detecção do ambiente.

Na TABELA 14 encontram-se os resultados ao respeito das FIGURAS 50, 51, 52 e 53, mostrando os dados em função da posição real do *smartphone* e a obtida pelo aplicativo, em vermelho são apresentados os andares onde o aplicativo não fez corretamente a detecção, além disso, a tabela proporciona a informação de onde o aplicativo não acertou na detecção da sala.

TABELA 14 - RESULTADOS TESTE 5

Figura	Bloco real	Andar real	Bloco aplicativo	Andar aplicativo	Acerto na sala
A	VI	1	VI	1	Não
B	VI	0	VI	1	Sim
C	VI	0	VI	1	Não
D	VI	0	VI	0	Não
E	VI	0	VI	0	Sim
F	VI	0	VI	0	Não
G	VI	0	VI	0	Não
H	VI	0	VI	1	Sim
I	V	0	V	0	Sim
J	V	0	V	0	Sim
K	IV	0	IV	0	Não
L	IV	1	IV	1	Não
M	VI	1	VI	1	Sim
N	VI	1	VI	1	Não

Fonte: A autora (2018)

No quanto, às FIGURA 50 (C) y FIGURA 51 (H) a discrepância na obtenção do andar aconteceu pela proximidade com as escadas do local, já que nestas a propagação do sinal é diferente devido a que não existem estruturas na divisão dos andares.

TABELA 15 - ANÁLISE TESTE 5

	Andar	Bloco	Sala
Porcentagem de acerto	79%	100%	43%

Fonte: A autora (2018)

Com base na TABELA 15, é possível ver que a existe uma porcentagem alta de acerto na detecção do andar e o bloco, mas no caso da técnica do centróide ponderado o acerto da detecção da sala é menos de 50% das amostras.

Finalmente, realizou-se uma análise com respeito às pesquisas feitas na tecnologia WIFI a partir dos dados da TABELA 16.

TABELA 16 - PESQUISAS FEITAS EM POSICIONAMENTO PELA TECNOLOGIA WIFI

Autores	Ano	Técnica	Acurácia (m)
Ocaña et al.	2005	<i>Fingerprint</i>	≈ 3
Bose e Foh	2007	Trilateração	≈ 3
Honkavirta et al.	2009	<i>Fingerprint</i>	≈ 6
Avallone e Capdehourat	2010	<i>Fingerprint</i>	1 - 8
Gansemer, Großmann e Hakobyan	2010	<i>Fingerprint</i>	≈ 2 – 3
Llados et al.	2011	<i>Fingerprint</i>	2
Marques, Meneses e Moreira	2012	<i>Fingerprint</i>	≈ 3
Kornuta, Acosta e Toloza	2013	<i>Fingerprint</i>	≈ 2 - 4
Mok e Cheung	2013	<i>Fingerprint</i>	1- 4
Boonsriwai e Apavatjirut	2013	<i>Fingerprint</i> e trilateração	≈ 3 e 6
Torres-Sospedra et al.	2014	<i>Fingerprint</i>	5
Conte	2015	<i>Fingerprint</i>	2 - 6
Trevisan e Pérez	2017	<i>Fingerprint</i>	3
Sakr e El-Sheimy	2017	<i>Fingerprint</i>	1-2
Dos Santos	2017	<i>Fingerprint</i>	≈ 3

Fonte: Compilado pela autora (2018)

A técnica *Fingerprint* tem uma acurácia que varia de 1 a 8 metros, sendo isto comparado com as acurácias obtidas nesta pesquisa, que foram aproximadamente 10, 7 e 8 metros para o centróide, centróide ponderado e a trilateração respectivamente. Os resultados do *Fingerprint* são melhores em comparação com esta pesquisa, isto já que eles não dependem diretamente da medição do RSSI no caso da trilateração, e no caso do centróide não dependem da quantidade e distribuição de roteadores na área de estudo.

Para a pesquisa feita por Boonsriwai e Apavatjirut (2013), foi determinado o posicionamento com ao menos um na linha de visada do dispositivo e considerado no cálculo APs com intensidades do sinal fortes, e usando até 9 APs, o que indica que poderia ser usada uma filtragem dos dados de acordo com as intensidades do sinal recebida no *smartphone* desde os diferentes APs.

Além disso, é possível comparar os resultados obtidos com o posicionamento pelo AGPS, que de acordo com Figueiredo e Silva et al. 2019 o erro corresponde a 32 metros para esta tecnologia, então com base na pesquisa

feita, teve-se um melhor resultado com a tecnologia WIFI e os algoritmos propostos.

5 CONCLUSÕES

A necessidade de serviços baseados na localização aumenta dia a dia, e um sistema de posicionamento interno pode contribuir com a solução de parte deste problema. O desenvolvimento de aplicativos e pesquisas permitem posicionar objetos em ambientes internos com diferentes níveis de acurácia através das redes WIFI. Neste sentido, a pesquisa desenvolvida apresentou três técnicas baseadas nesta tecnologia para o posicionamento interno. Os resultados mostram a viabilidade de desenvolvimento e a possibilidade de gerar interfaces gráficas para dados geográficos, que permitam uma melhor representação e interação entre o usuário e o ambiente interno.

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma solução de código aberto para pesquisas utilizando a tecnologia WIFI em um aplicativo para *smartphone* na plataforma *android*, no contexto do posicionamento interno. Além disso, foi realizada a comparação entre três técnicas de posicionamento, as quais são: centróide, centróide ponderado e trilateração.

O objetivo principal desta pesquisa foi o desenvolvimento de uma solução para posicionamento interno por meio da tecnologia WIFI, já que corresponde a uma técnica que encontra-se disponível na maioria dos prédios. Além disso, não precisa de uma infraestrutura complexa e com base nas pesquisas apresentadas no trabalho permite obter uma acurácia adequada para o posicionamento interno.

O aplicativo desenvolvido permite obter a intensidade a partir de diferentes roteadores e calcular a distância por duas formulações: uma em função da intensidade mensurada, uma intensidade e distância padrão; e a segunda com função na intensidade e a frequência de transmissão do roteador WIFI. Além disso, o software apresenta os roteadores próximos ao dispositivo, fornecendo informação sobre a localização dos roteadores registrados. Em relação aos roteadores registrados, estes são apresentados em um mapa, para assim o usuário possa conhecer sua localização geográfica. Finalmente, o aplicativo fornece o cálculo da posição, por meio das três técnicas mencionadas, apresentando a solução no mapa através do centróide ponderado. É importante destacar que para os dados de intensidade, cálculo de distância e de posição,

foi adicionada a possibilidade para o usuário escolher armazenar estes dados em uma base de dados.

Considerando os objetivos específicos, foi realizada uma análise da cobertura dos roteadores, para assim determinar se era possível obter a posição de qualquer ponto na área de estudo. A partir destas análises foi concluído que a rede tem um alcance que cumpre com o requisito definido. Mas, é importante destacar que este estudo foi feito com base na cobertura teórica, de acordo com o padrão de transmissão para os roteadores da área de estudo. Assim, não necessariamente pode ser representativo da realidade, já que como foi apresentado, o sinal WIFI encontra-se afetado de múltiplos fatores, como atenuação pela estrutura da edificação, absorção pelo corpo humano, temperatura, entre outros, pelo que não é possível ter certeza da cobertura total estável ao longo do tempo na área de estudo.

Considerando os testes realizados, no primeiro deles é possível analisar que a intensidade tem um comportamento variável na mesma posição, e que quando aumenta a distância entre o roteador e o dispositivo de medição, a mesma diminui corroborando o apresentado por EYESAAS (2018).

Em algumas amostras aconteceu uma variação de 13 (dBm) no mesmo ponto, gerando distâncias calculadas com diferenças de 6 metros com a primeira função de distância e de 14 metros com a segunda formulação. Deste modo, como a estimativa da posição depende do RSSI e das distâncias calculadas através dela, primeiramente é preciso filtrar o ruído gerado no RSSI, e modelar a distância, de acordo aos diversos parâmetros que afetam o RSSI.

No caso do teste 2, a distância obtida em função do RSSI medido, RSSI e distância padrão apresenta uma melhor acurácia em geral com respeito à obtida em função do RSSI medido e a frequência. Mas até os 7 metros no plano horizontal foi mais representativa a distância denominada D2.

Para o teste 3, a técnica com melhor acurácia foi o centróide ponderado, comparando com as técnicas do centróide e a trilateração. No caso da trilateração, com o método do Ghilani, a solução do ajustamento não convergiu, já que o método considera mapas de cobertura circular uniformes, ou seja, com raio constante, o que não acontece na realidade, visto as variações na intensidade do sinal.

Para as técnicas do centróide e o centróide ponderado, é possível verificar que foi melhorada a acurácia estabelecendo pesos de acordo as intensidades. Porém, alguns pontos tiveram discrepâncias de até 19 metros. Isto pode acontecer devido a que o *smartphone* detectou roteadores com baixa qualidade do sinal no momento do posicionamento, e eles foram determinantes no cálculo de posição.

A técnica da trilateração pelo método 2, foi a técnica com menor dispersão, mas no momento de inserir as coordenadas dos pontos no mapa, a maioria dos pontos ficou concentrado em uma sala. Isso pode gerar uma confusão para o usuário no momento de localizar-se, caso esta técnica vai ser implementada.

No teste 4, foi possível determinar que no modo cinemático a técnica com melhor acurácia posicional foi o centróide ponderado, já que foi a mais representativa ao trajeto real.

Em relação ao aplicativo desenvolvido que utiliza a técnica de posicionamento do centróide ponderado para posicionar o usuário em um mapa interativo, a detecção da sala ocorreu em 43% dos casos. Entretanto, a posição do usuário foi próxima da realidade (sala do lado ou corredor mais próximo). Assim, o aplicativo poderia ser utilizado para auxiliar ao usuário na sua localização. Para a detecção do prédio e andar, realizada com a técnica de proximidade, obteve-se uma certeza de 100% e 79% respectivamente, o que pode ajudar o usuário a localizar-se com base nesta informação.

No caso dos resultados no posicionamento procura-se o desenvolvimento de técnicas de filtragem e modelagem dos dados para obter melhores resultados na posição do objeto, neste caso *smartphone* no ambiente interno.

6 RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento desta pesquisa forneceu um estudo com respeito a diferentes técnicas para posicionamento interno por meio de redes WIFI e principalmente uma alternativa de solução para este tipo de posicionamento, desenvolvendo um aplicativo para *smartphone*. Com base nisto, se recomenda:

- Estudar o comportamento do sinal WIFI com respeito aos parâmetros de atenuação, para assim realizar um filtragem do ruído na sua medição;
- Na obtenção da distância pelas formulações apresentadas, se sugere ao usar as duas formulações definir até que RSSI cada uma deve ser usada;
- Modelar a distância obtida por WIFI, de acordo com os parâmetros que afetam o RSSI, como temperatura, quantidade de pessoas (que poderia ser solucionado com filtragem por horários estabelecendo as horas com um maior uso do local). Considerar os materiais pelo qual desloca-se o sinal, para obter uma distância mais representativa com a realidade;
- Em relação às técnicas do centróide e do centróide ponderado, fazer uma maior quantidade de testes para corroborar se é possível identificar corretamente a sala. Realizar uma filtragem dos dados de acordo às intensidades, ou seja, escolher até quais intensidades vão ser considerados os roteadores no cálculo da posição;
- Usar a formulação da trilateração, pelo método 2, com uma maior quantidade de roteadores;
- Adicionar os dados geoespaciais dos outros prédios ao aplicativo. Além disso, adicionar simbologia e cores na representação do ambiente interno, para assim auxiliar ao usuário no momento de localizar-se com o aplicativo;
- Fazer testes com usuário para avaliar o posicionamento no ambiente e avaliar como o aplicativo pode auxiliá-lo na tarefa de navegação;
- No caso do posicionamento pelo método cinemático, gerar algoritmos que apresentem no mapa a posição do dispositivo constantemente, permitindo ao usuário navegar no ambiente interno com o dispositivo;
- Gerar uma solução combinada de posicionamento interno com externo;

- Comparar a posição obtida pelo *smartphone* (por meio do AGPS e GSM) com a posição por meio das redes WIFI.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, J.B; RAPPAPORT, T.S; YOSHIDA, S. Propagation measurements and models for wireless communications channels. **IEEE Communication Magazine**. p. 42-49. Janeiro 1995.

AL NUAMI, K; KAMEL, H. A Survey of Indoor Positioning Systems and Algorithms. In: 2011 International Conference on Innovations in Information Technology, Abu Dhabi, 2011, p. 185-190.

AL-AMMAR, M; ALHADHRAMI, S; AL-SALMAN, A; ALARIFI, A; AL-KHALIFA, H; Alnafessah, A; Alsaleh, M. In: 2014 International Conference on Cyberworlds, Santander, 2014, p. 245-252.

ANDREWS, J. **A+ Guide to Software: Managing, Maintaning, and Troubleshooting**. Course Technology, CENGAGE Learning. Boston, 2013.

ANTUNES, A. P; **Avaliação de pontos de referência com uso de Qr-Code para posicionamento em ambiente indoor**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

AVALLONE, C; CAPDEHOURAT, G. **Posicionamiento indoor con señales de WIFI**. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de la República de Uruguay. 2010.

BAHL, P; PADMANABHAN, V. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system. In: Conference on Computer Communications. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies Tel Aviv, 2000, p. 775-784 v.2.

BANIUKEVIC, A; SABONIS, D; JENSEN, C; LU, H. Improving Wi-Fi Based Indoor Positioning Using Bluetooth Add-Ons. In: 2011 IEEE 12th International Conference on Mobile Data Management, Lulea, 2011, p. 246-255.

BENSKY, A. **Wireless Positioning Technologies and Applications**. Artech House, Botton, 2008.

BOLLIGER, P. Redpin - Adaptive, zero-configuration indoor localization through user collaboration. In: Proceedings of the ACM International Workshop on Mobile Entity Localization and Tracking in GPS-less Environments, MELT 2008, San Francisco, California, USA, 2008, p. 55-60.

BOONSRIWAI, S; APAVATJRUT, A. Indoor WIFI localization on mobile devices. In: 10th International Conference on Electrical Engineering / Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Krabi, 2013, p. 1-5.

BOSE, A; FOH, C. A Practical Path Loss Model For Indoor WiFi Positioning Enhancement. In: Sixth International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS). Singapore, 2007.

BRKOVIĆ, M; SIMIĆ, M. Multidimensional Optimization of Signal Space Distance Parameters in WLAN Positioning. **The Scientific World Journal**. v. 2014, 2014.

CISCO. Getting Started Guide. **Cisco Aironet 1600 Series Access Points**. 2018.

CCM BECHMARK. **Introduction to Wi-Fi (802.11 or WiFi)**. 2008. Disponível em: <<https://ccm.net/contents/802-introduction-to-wi-fi-802-11-or-wifi>>. Acesso em: 13 de outubro de 2018.

CHRYSIKOS, T; GEORGOPOULOS, G; KOTSOPOULOS, S. Site-specific validation of ITU indoor path loss model at 2.4 GHz. In: IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks & Workshops. 2009. p 1-6.

CHUAN-CHIN, P; CHUAN-HSIAN, P; HOON-JAE, L. 11 - Indoor Location Tracking Using Received Signal Strength Indicator. In: FOERSTER, A; FOERSTER, A. Emerging Communications for Wireless Sensor Networks. IntechOpen, Rijeka, 2011.

CONTE, E. **Algoritmos de análise de cena para localização indoor via redes ieee 802.11**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Automação e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

COSTA, E; GONZALEZ, F; CONDE, D; BARRAGANS, B; RODRÍGUEZ, P; GIL, F. QR-Maps: An efficient tool for indoor user location based on QR-Codes and Google maps. In: 2011 IEEE Consumer Communications and Networking Conference, 2011.

DELAZARI, L; ERCOLIN FILHO, L; VIANA SAROT, R; FARIAS, P. P; ANTUNES, A; BARBOSA DOS SANTOS, S. 9 - Mapping Indoor Environments: Challenges Related to the Cartographic Representation and Routes. In CONESA, J; PÉREZ-NAVARRO, A; TORRES-SOSPEDRA, J; MONTOLIU, R. In Intelligent Data-Centric Systems, **Geographical and Fingerprinting Data to Create Systems for Indoor Positioning and Indoor/Outdoor Navigation**. Academic Press. 2019. p169-186.

DESCAMPS-VILA, L; PÉREZ, A; CONESA, J. Integración de un sistema de posicionamiento Indoor en aplicaciones SIG para dispositivo móvil. In: VII Jornada de SIG libre, Girona, 2013.

DOLIŃSKA, I; MASIUKIEWICZ, A; RZADKOWSKI, G. The Mathematical Model for Interference Simulation and Optimization in 802.11n Networks. In: The Concurrency, Specification, and Programming Workshop, CS&P. Warsaw, Poland. 2013. p. 99-111.

DOS SANTOS, S; **Proposta para implementação do método Fingerprint para posicionamento indoor no UFPR CampusMap**. Trabalho de graduação (Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) – Setor Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

EKAHAU. **Ekahau Wireless Design**. 2018 Disponível em: <<https://www.ekahau.com/>>. Acesso em: 3 de abril de 2018.

EKAHAU. Ekahau RTLS Guide. Requirements and Best Practices for Ekahau

RTLS 4.x. **RTLS Guide 4.x**, 2008.

EKAHAU. The Ekahau Real-Time Location System. (RFID-over-Wi-Fi™) Delivering Business Intelligence Through Location. **Ekahau_RTLS_Solution_BR_1_2015**, 2015.

EYESAAS. Eyesaas - Device Management and Insight. **Wi-Fi Signal Strength: What Is a Good Signal And How Do You Measure It**. 2018. Disponível em: <<https://eyesaa.com/wi-fi-signal-strength/>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

FIGUEIREDO E SILVA, P; RICHTER, P; TALVITIE, J; LAITINEN, E; LOHAN, E.S, 13 - Challenges and Solutions in Received Signal Strength-Based Seamless Positioning. In CONESA, J; PÉREZ-NAVARRO, A; TORRES-SOSPEDRA, J; MONTOLIU, R. In Intelligent Data-Centric Systems, **Geographical and Fingerprinting Data to Create Systems for Indoor Positioning and Indoor/Outdoor Navigation**, Academic Press, 2019. p. 249-285.

GARCIA, E. **Técnicas de Localización en Redes Inalámbricas de Sensores**. Instituto de Investigación en Informática de Albacete, Departamento de Sistemas Informáticos, Universidad de Castilla-La Mancha, 2008.

GANSEMER, S; GROßMANN, U; HAKOBYAN, S. RSSI-based Euclidean Distance algorithm for indoor positioning adapted for the use in dynamically changing WLAN environments and multi-level buildings. In: 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, Zurich, 2010, p. 1-6.

GHILANI, C.D. **Adjustment Computations. Spatial Data Analysis**. 5 ed. Canada: John Wiley & Sons, 2010.

GHILANI, C.D; WOLF, P.R. **Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics**. 14 ed. Pearson Education. 2014.

WIFIANALYZER. **WiFi Analyzer**. 2018. Disponível em: <<https://github.com/VREMSoftwareDevelopment/WiFiAnalyzer>>. Acesso em: 6 de junho de 2018.

GU, Y; LO, A; NIEMEGEREERS, I. A survey of indoor positioning systems for

wireless personal networks. In: IEEE Communications Surveys e Tutorials, v. 11, n. 1, p. 13-32. 2009.

HALDER, S; GHOSAL, A. A survey on mobile anchor assisted localization techniques in wireless sensor networks. **Wireless Networks**, 2015.

HERE. Here Indoor Positioning. **Indoor Positioning FAQs**. 2018. Disponível em: <<https://www.here.com/en/products-services/here-tracking-positioning-suite/here-indoor-positioning>> Acesso em: 3 de abril de 2018.

HONKAVIRTA, V; PERÄLÄ, T; ALI-LÖYTTY, S; PICHÉ, R. A comparative survey of WLAN location fingerprinting methods. In: 6th Workshop on Positioning, Navigation and Communication, WPNC 2009. p. 243 - 251.

HUANG, H; GARTNER, G. A Survey of Mobile Indoor Navigation Systems. Chapter from book: **Cartography in Central and Eastern Europe**, p. 305-319. 2010.

HUANG, H; GARTNER, G; LI, Y; SCHMIDT, M. Smart Environment for Ubiquitous Indoor Navigation. In: 2009 International Conference on New Trends in Information and Service Science (NISS 2009) (NISS). Beijing, 2009. p. 176-180.

INFOSOFT. **Smart Connected Locations**. 2018. Disponível em: <<https://www.infsoft.com/>>. Acesso em: 3 de abril de 2018

JORGE, P. **Localização Indoor com Optimização Multicritério**. Dissertação (Mestrado em Matemáticas) – Departamento de matemáticas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2014.

KANG, H; LI, K. A Standard Indoor Spatial Data Model – OGC IndoorGML and Implementation Approaches. **International Journal of Geo-Information**. Basel, Switzerland, v. 6. Iss. 4. 12 de abril de 2017. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2220-9964/6/4>>

KASHEVNIK, A; SHCHEKOTOV, M. Comparative analysis of indoor positioning systems based on communications supported by smartphones. In: 12th

Conference of Open Innovations Association (FRUCT), Oulu, 2012, p. 1-6.

KORNUTA, C; ACOSTA, N; TOLOZA, J. Posicionamiento WIFI con variaciones de fingerprint. In: XVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Argentina, 2013.

KOŁODZIEJ, K., HJELM, J. **Local Positioning Systems**. CRC Press, Taylor e Francis Group. 2006.

KUNTAL, A; TETARWAL, M; KARMAKAR, P. A Review of Location Detection Techniques in Wi-Fi. In: National Seminar on Recent Advances in Wireless Networks and Communications, 2014.

LAOUDIAS, C; CONSTANTINO, G; CONSTANTINIDES, M; NICOLAOU, S; ZEINALIPOUR-YAZTI, D; PANAYIOTOU, C. The Airplace Indoor Positioning Platform for Android Smartphones. In: 13th International Conference on Mobile Data Management, Bengaluru, Karnataka, 2012, p. 312-315.

LIMA, C; **Desenvolvimento de aplicativo para dispositivos móveis com mapas indoor para o projeto UFPR Campus map**. Trabalho de graduação (Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) – Setor Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

LIU, H; DARABI, H; BANERJEE, P; LIU, J. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)**, v. 37, n. 6, p. 1067 – 1080. Novembro de 2007.

LLADÓS, J; PALLEJÀ, T; TRESANCHEZ, M; TEIXIDÓ, M; FONT, D; PALACÍN, J. Experiencia de auto localización en un recinto universitario a partir de la red WiFi existente. In: Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación Badajoz, España, 2011, p. 481-484.

MAMYRIN, B.A. Time-of-flight mass spectrometry (concepts, achievements, and prospects). **International Journal of Mass Spectrometry**. 2001, v. 206, i. 3, p. 251-266.

MARINELLI, M; TOLOZA, J; ACOSTA, N; Posicionamiento indoor determinado por la distancia en función de la potencia medida de balizas bluetooth. In: XVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Argentina, 2013.

MARQUES, N; MENESES, F; MOREIRA, A. Combining similarity functions and majority rules for multi-building, multi-floor, WIFI positioning. In: Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Sidney, Austrália, 2012.

MAUTZ, R. **Indoor Positioning Technologies**. Tese (Doutorado) – Department of Civil, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Environmental and Geomatic Engineering. Zurich, 2012.

MICROSOFT RESEARCH. **Radar**. 2001. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/en-us/research/project/radar/>>. Acesso em: 3 de abril de 2018.

MOK, E.; CHEUNG, B.K. An Improved Neural Network Training Algorithm for Wi-Fi Fingerprinting Positioning. **ISPRS International Journal of Geo-Information**. 2013, v. 2, i. 3, p. 854-868.

NAMIOT, D. (2015). On Indoor Positioning. **International Journal of Open Information Technologies**, v. 3, n. 3, 2015.

NOSSUM, A. Developing a Framework for Describing and Comparing Indoor Maps. **The Cartographic Journal**. v.50, n. 3, p 218- 224. Agosto de 2013.

OCAÑA, M; BERGASA, L. M; SOTELO, M. A; NUEVO, J; FLORES, R. Indoor Robot Localization System Using WiFi Signal Measure and Minimizing Calibration Effort," In: IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2005. ISIE 2005, Dubrovnik, Croatia, 2005, p. 1545-1550.

OGUNDARE, J.O. **Precision Surveying The Principles and Geomatics Practice**. 1 ed. New York: New York, NY John Wiley & Sons, 2015.

PENG, R; SICHITIU, M. Angle of Arrival Localization for Wireless Sensor Networks. In: 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, Reston, VA, 2006, p. 374-382.

PRASITHSANGAREE, P; KRISHNAMURTHY, P; CHRYSANTHIS, P. On indoor position location with wireless LANs. In: The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002, p. 720-724 v.2.

PUERTOLAS, J. A; MENDOZA, A; SANZ, I. Smart Indoor Positioning/Location and Navigation: A Lightweight Approach. **International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence**, v.2, n. 2. 2013.

PROXIMITY PLATFORM. **Proximi.io**. 2018. Disponível em: <<http://proximi.io/>>. Acesso em: 3 de abril de 2018.

REDPIN-TEAM. **Redpin**. Zurich, 2008. Disponível em: <<http://redpin.org/index.html>>. Acesso em: 3 de abril de 2018.

REGUEIRO, C. **Error en el posicionamiento Indoor en dispositivos móviles**. Dissertação (Master de Investigación) - Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona, 2014.

SAKR, M; EL-SHEIMY, N, Efficient Wi-Fi signal strength maps using sparse Gaussian process models. In: 2017 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Sapporo, 2017, p. 1-8.

SAROT, R.V; **Avaliação de mapas Indoor para dispositivos móveis para auxílio à tarefa de orientação**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SIMÕES, D; **Navegação indoor baseada na rede Wifi como suporte a serviços baseados na localização: Estudo de caso campus da UL**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de informação Geográfica) – Departamento de Engenharia Geográfica Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

SHALA, U; RODRIGUEZ, A. **Indoor Positioning using Sensor- fusion in Android Devices**. Dissertação (Mestrado em Embedded Systems) - School of

Health and Society, Department Computer Science Kristianstad University, Sweden, 2011.

SKYHOOK. **Location Technologies and Intelligence**. 2018. Disponível em: <<https://www.skyhookwireless.com/>>. Acesso em: 3 de abril.

SOHN, T; GRISWOLD, W; SCOTT, J; LAMARCA, A; CHAWATHE, Y; SMITH, I; CHEN, M. Experiences with place lab: an open source toolkit for location-aware computing, In: 28th International Conference on Software Engineering (ICSE 2006), Shanghai, China, 2006.

SVALASTOG, M. **Indoor Positioning – Techonologies, Services and Architectures**. Dissertação (Master Computer Science) - Department of Informatics, University of Oslo, 2007.

TORRES-SOSPEDRA, J; MONTOLIU, R; MARTÍNEZ-USÓ, A; AVARIENTO, J; ARNAU, T; BENEDITO-BORDONAU, M; HUERTA, J. UJIIndoorLoc: A new multi-building and multi-floor database for WLAN fingerprint-based indoor localization problems. In: 2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Busan, 2014, p. 261-270.

TREVISAN, D; PÉREZ, A. **Influencia de la presencia de personas en sistemas de posicionamiento indoor mediante Wi-Fi fingerprinting**. Universitat Oberta de Catalunya, Espanha, 2017.

Universidade Federal do Parana (UFPR). **UFPR CampusMap**. Curitiba, 2018. Disponível em <<http://www.campusmap.ufpr.br/>>. Acesso em 9 de outubro de 2018.

WIFARER. **Indoor Positioning Technologies**. 2016. Disponível em: <<http://www.wifarer.com/>>. Acesso em: 3 de abril de 2018.

XIA, S; LIU, Y; YUAN, G; ZHU, M; WANG, Z. Indoor Fingerprint Positioning Based on Wi-Fi: An Overview. **International Journal of Geo-Information**, v.6, n.135, 2017.

YOUSSEF, M; AGRAWALA, A. Continuous space estimation for WLAN location

determination systems. In: Computer Communications and Networks, 2004.

ZHANG, R; BANNOURA, A; HÖFLINGER, F; REINDL, L. M; SCHINDELHAUER, C. Indoor localization using a smart phone. In: 2013 IEEE Sensors Applications Symposium Proceedings, Galveston, TX, 2013, p. 38-42.